

## РЕФЕРАТ

УДК 535.52:66.045

Магістерська дисертація на тему: «Дослідження кінетики сушіння енергетичної верби» / НТУУ «КПІ» імені Ігоря Сікорського; Керівник Степанюк А.Р.. – К., 2017. – 106 с.: 23 іл., 29 табл. – Виконавець Довгаль О.О. – Бібліогр.: 140 с.

Об'єкт дослідження: процес кінетики сушіння енергетичної верби.

Предмет дослідження: дослідження кінетики сушіння енергетичної верби.

Метою дисертаційної роботи є дослідження процесу кінетики сушіння енергетичної верби.

Обґрунтовано доцільність дослідження кінетики сушіння енергетичної верби. Створено фізичну модель та на її основі підібрано математичну модель процесу кінетики сушіння енергетичної верби.

Отримано залежності швидкості сушіння відносно часу для не деформованого бруска енергетичної верби та для бруска верби з попередньою механічною деформацією.

За результатами досліджень розроблено методику та алгоритм розрахунку барабанної сушарки.

БАРАБАННА СУШАРКА, ЕНЕРГЕТИЧНА ВЕРБА, ДЕРЕВНІ ПЕЛЕТИ, СУШІННЯ.

## РЕФЕРАТ

УДК 535.52:66.045

Магистерская диссертация на тему: «Исследование кинетики сушки энергетической ивы» / НТУУ «КПИ» имени Игоря Сикорского Руководитель Степанюк А.Р. - М., 2017. - 106 с. : 23 ил., 29 табл. - Исполнитель Довгаль А.А. - Библиогр. : 140 с.

Объект исследования: процесс кинетики сушки энергетической ивы.

Предмет исследования: исследование кинетики сушки энергетической ивы.

Целью диссертационной работы является исследование процесса кинетики сушки энергетической ивы.

Обоснована целесообразность исследования кинетики сушки энергетической ивы. Создана физическую модель и на ее основе подобрано математическую модель процесса кинетики сушки энергетической ивы.

Получены зависимости скорости сушки относительно времени для не деформированного бруска энергетической ивы и для бруска ивы с предыдущей механической деформацией.

По результатам исследований разработана методика и алгоритм расчета барабанной сушилки.

БАРАБАННАЯ СУШИЛКА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИВА, ДРЕВЕСНЫЕ ПЕЛЕТЫ, СУШКА.

## **ABSTRACT**

UDC

Master's dissertation: "Research of the kinetics of drying of energy willow" / NTUU "Igor Sikorskiy Kyiv Polytechnic Institute"; Head Stepanyuk A.R. - K., 2017. - 106 p.: 23 pic. - Performer Dovgal O.O. - The bibliographer: 140 p.

Object of research: the process of kinetics of drying of energy willow.

Subject of research: study of kinetics of drying of energy willow.

The purpose of the dissertation is to study the process of kinetics of drying of energy willow.

The expediency of researching the kinetics of energy willow drying is substantiated. A physical model was created and on its basis a mathematical model of the process of kinetics of drying of energy willow was selected.

The dependence of the drying rate on time for a non-deformed power willow bar and for a willow bar with a previous mechanical deformation was obtained.

According to research results, a technique and algorithm for calculation of drum dryer are developed.

ROTTARY DRUM DRYER, ENERGY WILLOW, WEDDING PELLETS,  
DRYING

## Зміст

Вступ.....	6
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Деревні пелети .....	9
1.2 Види пелет та їх використання .....	11
1.3 Застосування техніки сушіння енергетичної верби .....	12
1.3.1 Виготовлення пелет.....	12
1.3.2 Шляхи застосування техніки сушіння енергетичних культур у світі та Україні .....	14
1.3.3 Конструкції сушильних пристроїв для сушіння паливних брикетів .....	21
2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ .....	37
2.1 Фізична модель процесу .....	37
2.2 Математична модель процесу .....	38
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ.....	41
3.1 Структура експериментального стенда для проведення дослідження кінетики процесу сушіння .....	41
3.2 Методика експериментального дослідження кінетики процесу .....	45
3.3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	46
3.3.1 Електробезпека .....	47
3.3.2 Промислове освітлення.....	49
3.3.3 Розрахунок повітря робочої зони .....	50
3.3.4 Захист персоналу від шуму .....	51
3.3.5 Пожежна безпека .....	51
3.3.6 Балонне обладнання .....	53
3.4 Розрахунок похибок прямих та непрямих вимірювань.....	56
3.4.1 Розрахунок похибки прямого вимірювання .....	57
3.4.6 Обробка результатів непрямих вимірювань.....	59
4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ НАДІЙНІСТЬ ТА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ .....	61
4.1 Розрахунок барабанної сушарки.....	61
4.1.1 Тепловий баланс барабанної сушарки .....	61
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	74
5.1 Опис ідеї проекту .....	74
5.2 Технологічний аудит проекту .....	76
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	77
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	86
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	90
5.6 Висновки .....	96
Висновки .....	97
Выводы .....	98

Conclusions .....	99
Перелік посилань.....	102
Додаток А .....	107
Додаток Б.....	120
Додаток В .....	130
Додаток Г .....	131

## ВСТУП

На сьогоднішній день серед усіх енергетичних рослин у світі саме верба сьогодні використовується у світі в якості основної енергетичної культури для виробництва твердого палива. Найбільшого досвіду у вирощуванні верби виду *Salix Viminalis* здобули такі країни як Швеція, Англія, Ірландія, Польща, Данія. Найбільшими плантаціями верби, на теперішній час володіє Швеція, становить приблизно 18 000 – 20 000 га, та Польща - більше 6 000 га[1].

На даний момент в Україні є не задіяні під сільськогосподарську діяльність, так як вони є малопродуктивними для вирощування традиційних сільськогосподарських культур. В свою чергу, енергетична верба невибаглива щодо ґрунту, що дає можливість раціонально використовувати землю за її призначенням. Використання енергетичної верби супроводжується рядом переваг, серед яких є:

- відновлюване тверде біопаливо;
- екологічно чисте тверде біопаливо, яке не порушує баланс вуглецю в атмосфері;
- сама верба є природним фільтром для видалення відходів агро-промислового виробництва
- з одного гектару плантації можна отримувати 7-15 сухих тонн енергетичної верби на рік;
- в порівнянні з використанням газу є більш економічно вигідним твердим паливом в опалюванні будівель.
- збагачує ґрунти мінералами та мікроелементами;
- кількість циклів збору урожаю з однієї посадки – 7-8 разів, після чого можна проводити рекультивацію землі під посадку інших культур або закладати нову плантацію верби.

Після збору урожаю, вологість тріски, яка складає приблизно 50-60% достатньо для використання у котлах, які працюють на киплячому шарі. Але для використання у невеликих водогрійних котлах, задля більшої ефективності бажано щоб вологість тріски складала 35-40%. Цих чисел можливо досягти шляхом

сушіння верби перед подачею до котла в порівнянні з зберіганні твердої біомаси під накритим приміщенням [2].

На мою думку, використання енергетичної верби, є економічно вигідно, що в свою чергу може сприяти зменшенню імпорту дорогих енергоресурсів та створення додаткових робочих місць. А сушіння даної деревини перед подачею до котла збільшує її ефективність, що робить тему даної роботи актуальною.

### **Мета і завдання дослідження**

1. Проаналізувати процеси дослідження кінетики сушіння та тепловологісної обробки енергетичної верби.
2. Розробка фізичної і математичної моделі дослідження кінетики сушіння та тепловологісної обробки енергетичної верби.
3. Удосконалення існуючої експериментальної установки.
4. Проведення експериментальних досліджень сушіння тріски енергетичної верби.
5. Проведення експериментальних досліджень тепловологісної обробки енергетичної верби.
6. Аналіз результатів досліджень.
7. Обґрунтування параметрів сушильної установки та парогенератора на стадії термовологісної обробки.
8. Аналіз результатів досліджень.

**Об'єктом дослідження** – процес сушіння енергетичної верби.

**Предметом дослідження** – дослідження кінетики сушіння енергетичної верби.

# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Деревні пелети

Деревні гранули (паливні гранули) є одним з небагатьох альтернативних видів палива, що використовуються для опалення житлових будинків, підприємств.

Ваховуючи підвищення цін на такі палива як газ, нафта, вугілля використання паливних брикетів є ефективним із економічної точки зору і з екологічної безпеки.

Важливим аспектом є те, що деревина використовується для виробництва гранул - ресурсу, який є природною батареєю, яка накопичує велику кількість сонячної енергії під час росту. Пелети - один з найбільш екологічно чистих видів палива. Він не лише не забруднює навколишнє середовище, але також вирішує проблему утилізації деревних відходів [1].

Виготовляють гранули у вигляді гранул діаметром 6-10 мм і довжиною від 1 до 5 см. В той час, як в Швеції підприємства виготовляють гранули діаметром 25 мм. Теплотворна здатність деревних гранул становить 4,5-5 кВт/кг. Ця теплотворна здатність можлива через низький вміст вологи (8-10%). Порівнюючи пелети з викопними видами палива, то у перших викид вуглекислого газу в атмосферу в десятки разів нижче при спалюванні. Гранули вважаються нейтральним паливом, оскільки під час горіння виділяється така ж кількість двоокису вуглецю, що і при розкладанні деревини [2]. Зольність пелет в 15-20 разів менше в порівнянні з вугіллям. У деревних гранулах кількість сірки і азоту мінімальна і при ефективному згоранні, в димових газах вміст оксиду азоту та діоксиду сірки вкрай невелика [1].

В Україні для стандартизації гранул була розроблена система сертифікації ENplus, яка була розроблена DEPI (Deutsche Pellet Institut) для європейського ринку пелет і передана в AEBIOM (Європейська асоціація біомаси). На даний момент ця система охопила більше 60% європейського ринку пелет [2].



З кожним роком виробництво і споживання гранул різко зростає. Наприклад, якщо на початку 21-го століття в Німеччині виробництво гранул складало 11 тис. тонн, то в 2005 році цей показник становив понад 300 тис. тонн, а в 2012 році - понад 1,5 млн. тонн. З 2015 року щорічне використання гранул в Німеччині становить 6 мільйонів тонн, а в Швеції з кожним роком споживання гранул збільшується на 30%. Очікується, що до 2015 року урядова програма Швеції підвищить споживання гранул до 9 мільйонів тонн на рік. Очікується, що світове виробництво пелет з сьогоднішніх 12 мільйонів тонн може досягти 100 мільйонів тонн до 2020 року. Незважаючи на постійно зростаючі обсяги виробництва, країни ЄС сьогодні не можуть задовольнити свої потреби в паливних таблетках, тому значна кількість гранул імпортовано з інших країн [2].

Близько 85% української продукції експортується в європейські країни. Зараз річне виробництво тільки деревних гранул в Україні сягає близько 400 тис. тонн, що дорівнює кількості виробництва пелет з соломи і соняшнику разом взятих. На даний момент український ринок продукції знаходиться на початковій стадії розвитку і збільшується на 15-20% з кожним роком. Слід також мати на увазі, що близько 2 мільйонів кубометрів деревних відходів залишаються невикористаними, що вказує на потенціал зростання цього ринку. Беручи до уваги всі існуючі джерела сировини, Україна може виробляти 3,5-4 млн тонн на рік. Зростання виробництва також буде сприяти використанню енергетичних лоз для виробництва енергетичних гранул, які можуть розширити сировинну базу [3].

Використання місцевих ресурсів дозволить знизити залежність України від використання східного газу і забезпечити надійність енергопостачання. Що підвищить українське виробництво та використання деревних гранул та фактор енергетичної безпеки [4].

Існує два основних компоненти виробництва пелет - це сировина та витрати на транспортування. В цілому, вартість виробництва цих витрат становить 70-80% від собівартості деревних брикетів.

Сировиною для деревних гранул може бути:

- енергія верби
- масивна деревина з подальшим шліфуванням
- обробка відходів деревини (тирса, тріска тощо.)
- деревні живці після очищення зелених насаджень.

У цьому випадку основним компонентом для виробництва гранул є деревина високошвидкісних порід, таких як тополя, верба, мізантус та інші. В Україні самої сприйнятливою для цього рослиною є енергетична верба (*Salix Viminalis*) [4]. Продуктивність такої верби становить від 10 до 15 тонн сухої маси на гектар в рік, що в 14 разів перевищує урожай деревини на звичайних плантаціях. У той же час збір проводиться один раз в три роки протягом 35 років, після чого можна проводити рекультивацію для посадки інших культур або для проведення нової посадки енергетичної верби. Важливою особливістю є те, що нестійкі сільськогосподарські угіддя можуть використовуватися для вирощування лози. І якщо порівнювати з культивуванням ріпаку, енергетична лоза не завдає шкоди земним ресурсам [4].

## **1.2 Типи гранул і їх використання**

Гранули класу «преміум» (білий і сірий) використовуються при згоранні в невеликих котлах, печах для опалення житлових будинків.

Деревні пелети виготовляють діаметром 6-8 мм і довжиною не більше 50 мм. В Європі вони зазвичай продаються в мішках вагою 15-20 кілограмів [4]. Попит на деревні брикети та гранули, а також котли для їх спалювання збільшується пропорційно цінам на викопне паливо, наприклад, нафту і газ. У деяких європейських країнах, наприклад у Швеції, де найбільш розвинений ринок альтернативних джерел енергії, енергетичні гранули використовують для опалення більше 50% житлових будинків. Таке широке поширення також пояснюється екологією цього виду палива - при спалюванні викиди вуглекислого газу такі ж, як при поглинанні цього газу з ростом деревини, а

викиди оксиду азоту знижуються з використанням сучасних технологій спалювання.

Темні пелети з високим вмістом рештків спалюються в котлах високої потужності для вироблення тепла та електроенергії для населених пунктів і підприємств. Темні гранули можуть бути більшого діаметру, ніж білі гранули, і вони продаються партіями в дві тисячі тонн або більше.

Гранули мають наступні типи [5]:

1. Світлі пелети білого кольору «преміум-класу» виготовлені з дерева без додавання кори. Теплотворна здатність гранул складає 17,2 МДж / кг.
2. Промислові гранули - сорт більш низької якості, який включає деревну кору і негорючі залишки. Теплопровідність таких гранул трохи нижче, ніж «преміум-класу».
3. Агро-гранули, компонентами яких є відходи гречки, насіння соняшнику. Вони мають чорний колір. Потужність нагріву - 15 МДж / кг. Головною перевагою виступає низька ціна.

### **1.3 Застосування техніки сушіння енергетичної верби**

#### **1.3.1 Виготовлення пелет**

Важливою ділянкою виробництва паливних пелет, а також паливних брикетів є процес витискування подрібненої деревини, соломи, лушпиння та інших.

Сировина надходить в дробарку, де вона подрібнюється до борошноподібного стану. Отримана маса надходить в сушарку, з неї - в прес-гранулятор, де деревну муку пресують в гранули. Натискання при пресуванні приводить до збільшення температури матеріалу, а лігнін, сприяє склеюванню часток в щільні циліндри [6].

Зробити одну тонну гранул становить 4-6 кубометрів деревних відходів природної вологоти. Готові гранули охолоджують, пакують у великі мішки по кілька тонн або невеликі пакети від одного кілограма до декількох десятків

кілограм. Розрізняють промислові (поставляються навалом без упаковок або пакетів) і споживчі гранули (в невеликих контейнерах, призначених для приватних і дрібних промислових споживачів) [6].

Енергетичні паливні гранули представляють собою невеликі циліндричні пресовані вироби діаметром 4-12 мм і довжиною 20-50 мм, оброблені з висушених залишків деревообробної промисловості: тирса, стружки, деревне борошно, тріска тощо. Гранули використовуються для спалювання в котлах для отримання теплової і електричної енергії [6].

Перевагою використання деревних гранул перед іншими видами палива є [6]:

- Скорочення шкідливих викидів в атмосферу: біопаливо визнається по виділенню вуглекислого газу - нейтральним, тобто коли воно спалюється, кількість виробленого в атмосферу кількості двоокису вуглецю не перевищує кількість викидів, що утворюються при природному розкладанні з дерева;
- Велика теплотворна здатність: в порівнянні з іншими деревними відходами. Енергоефективність одного кілограма деревних гранул дорівнює 0,5 літрам рідкого дизельного палива; в деревних гранулах теплотворна здатність більша в порівнянні з вугіллям і мазутом;
- Низька вартість у порівнянні з дизельним паливом і електричним опаленням;
- Чистота кімнат, де є установки для спалювання;
- Можливість автоматизувати котельні.

#### Технологія виробництва деревних гранул

Розташування обладнання на кожному підприємстві відрізняється. Однак ці принципи є загальними після появи технології виробництва гранул в 1947 році. Процес грануляції відбувається в спеціальних кільцевих формах з обертовими обертовими роликками, які пресують деревину в численні отвори, після чого гранули вирізують спеціальним ножом ззовні матриці, далі їх охолоджують і відокремлюють від дрібних частинок [6].

Весь виробничий процес можна розділити на кілька етапів [6]:

- Дроблення;

- Сушка;
- Перед подрібненням;
- Підготовка води;
- Персування;
- Охолодження;
- Упаковка

Розглянемо докладніше кожен етап виробництва [6]:

Дробарки подрібнюють деревину до розмірів не більше 20x20x2 мм для подальшої сушки. Оптимальним варіантом є подрібнення до меншої фракції для зниження споживання енергії під час сушки [6].

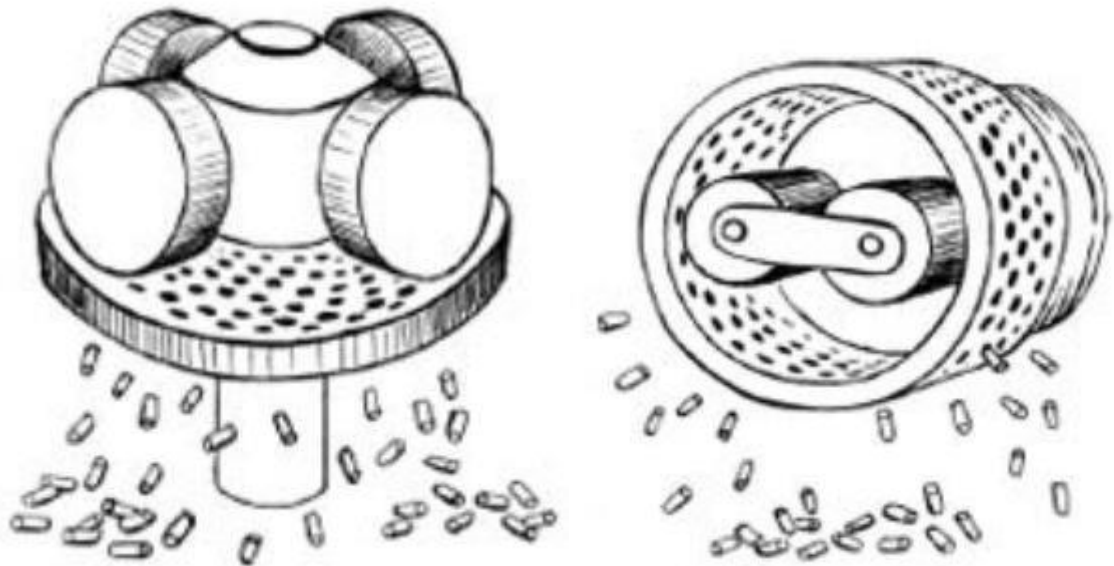
Вологість деревини повинна складати  $10\% \pm 2\%$  перед пресуванням. Сировина з вищою або меншою вологістю вимагає додаткового насичення вологою або додаткової сушки. У даному виробництві використовуються сушарки двох типів: барабанна і стрічкова. Стрічкові сушарки дорожчі, але більш безпечні в порівнянні з барабанними. За типом осушувача вони діляться на сушарки з димовими газами, гаряче повітря та водяна пара. За типом використовуваного палива для виробництва деревних гранул діляться на газові і деревні відходи.

Перед подрібненням сухої сировини для стабільної роботи преса розмір деревини повинен бути не більше 4 мм. Цю умову забезпечує молотковий млин або дезинтегратор [6].

Сировина з вмістом води менше 8% підлягає додатковому зволоженню, так як її важко якісно спресувати. В цьому випадку використовується пристрій для доповнення вологості деревини. Найкращим варіантом у цьому випадку є гвинтовий змішувач, в якому є подача води або пари. Пара використовується для зниження міцності і підвищення пластичності масивної деревини. Деякі преси не вимагають додавання пари деяких виробників через перевагу їх конструктивних особливостей. У деяких випадках виробники використовують пар для старої сировини, але в результаті вихідна продукція не буде хорошої якості [6].

Основою всього процесу гранулювання є прес. В даний час існує десяток виробників преси з усього світу (CPM, Andritz, Salmatec, Amandus Kahl, Buhler, Munch і багато інших).

Преси конструктивно розділяються за видами матриць (Рисунок 1.1) [6]:



а)

б)

а) – плоска матриця; б) – кругла матриця

Рисунок 1.1

Прес з круглою матрицею був розроблений для сільськогосподарської, харчової та хімічної промисловості. А прес з плоскою матрицею був виготовлений для утилізації промислових і побутових твердих відходів задля виготовлення біопалива [6].

На даний момент дані 2 преса, що задіяні в процесі грануляції, мають однаковий принцип роботи. Катки розчавлюють матеріал на матриці, і після проходження через отвори сировини пелети обрізаються ножом [6].

Гранулювання деревини, як матеріалу має високу щільність, що вимагає від компонентів пресувального устаткування підвищеного зусилля для пресування. Тому матрицю і катки виготовляють з загартованих та зносостійких сплавів [7].

При пресуванні деревина стискується до 3 разів. Даний процес проживає приблизно 40 кВт за годину на одну тону електроенергії. Виникнення сили

тертя і супроводження адіабатичних процесів, при пресуванні сировини, спричинає ріст температури в робочій зоні преса до 100 °С [7].

Чим вище зусилля пресування і вище температура сировини, тим якісніші будуть гранули на виході. Якщо під час пресування температура перевищує 120 °С відбуваються спалення лігніну в гранульованій сировині, які призводять до погіршення якості гранул. Охолодження спричинює кондиціювання гранул після пресування. У деяких виробників обладнання, в технологічному процесі, після охолоджувача сировина ще проходить стадію очистки готових гранул від пилу, що також сприяє покращенню якості продукції, що випускається.

В залежності від системи зберігання, яку використовує споживач, виконується фасування та пакування паливних брикетів [7].

- У вільному вигляді - насипом.
- У мішках біг-бег, від 500 до 1200 кг.
- У дрібній розфасовці по 10 ... 20 кг.

### **1.3.2 Шляхи застосування техніки сушіння енергетичних культур у світі та Україні**

В багатьох європейських країнах в планах є перехід на використання екологічно чистих та поновлюваних джерел енергії, що включають біомасу також сприятиме розвитку енергетики. Даний процес керуватиметься за допомогою особливих інструментів і механізмів, які будуть позитивно відкликатись на ріст подібних проектів [8].

Через ріст попиту на біопаливо, що також має відгук на його ціни призводить до стрімкого розвитку виробництва цього палива на Україні.

Ріст ціни на імпортуємий газ зі сходу вимушує нашу країну до заміни використання природнього газу на тверде паливо [8]. В цьому випадку енергетична верба являє собою найбільш ефективним варіантом даного палива, яка має шанс на успішну реалізацію в Україні. Основною із переваг

даної культури є її швидкий ріст (на 3-ій після посадки можна застосовувати як біопаливо). Також важливим чинником є те, що через інтенсивний ріст даного виду верби супроводжується поглинанням вуглецю, що є в атмосфері і супроводжується виділенням кисню в великих об'ємах, що слугуватиме важливим чинником задля реалізації цього плану [8].

Недивлячись на ці перспективи, жодна із країн світу біоенергетика не стала б вигідною без підтримки держави та бережної праці сфер діяльності, що включають в себе розвиток цього напрямку. Врегулювання наступних механізмів в ЄС, що оброблюють енергетичні культури [8]:

- енергетична політика;
- політика сільськогосподарська;
- політика в галузі наукових досліджень.

Станом на 2020 рік відповідаючи Директиві з ВДЕ 2009/28/ЕС в плани Європейського Союзу входить забезпечення більше 12% палив на транспорт за рахунок даної Директиви [8]. Це досягатиметься через використання сільськогосподарських культур для отримання різних типів палив. В Європейській комісії була внесена пропозиція стосовно обмеження внеску сільськогосподарських культур задля реалізації мети 2020 року у ВДЕ за рахунок транспорту до 7%. Цей меморандум знаходиться на розгляді парламентом ЄС та Радою. Також у Європарламенті є необхідним обговорення питання щодо зменшення внеску усіх культур до 8% задля досягнення цілі 2020 року з ВДЕ на транспорті. Другий основний напрямок в «Програмі розвитку сільських територій» у ЄС передбачено фінансову підтримку задля створення додаткових планцій для деревних енергетичних культур [8].

Станом на 2003-2009 рр фермери країн ЄС, що займаються вирощенням енергетичних культур, отримували спеціальні для цього субсидії. Після скасування цих субсидій у 2010 році певні країни запропонували свої стимули для розвитку цього напрямку. Також було видане зобов'язання для фермерів, що мають більше 15 га власних земель, щоб вони виділяли щонайменше 6% для екологічних потреб. На виділених площах стає можливим вирощування



енергетичних культур, але не використовуючи хімічні добрива та пестициди. Також було включено програму Horizon, строки виконання якої складають з 2014 року по 2020 рік та стратегічний план ЄС енерготехнологій. В даному плані вагомим є сприяння виробництву енергетичного палива та популяризація його використання. В той час програма Horizon фінансує вивчення та впровадження екологічно чисте та ефективне постачання енергію [8]. Один із інструментів для сприяння вирощенню енергетичних культур є «зелений» тариф на електричну енергію з біомаси, а також субсидія на площу, що використовується під засадку енергетичними культурами. Приєднуючись до енергетичного товариства Україні необхідно було виконати ряд умов. Одна з них - це Директива 2009/28ЕС, що є одним із головних документів ЄС у впровадженні альтернативних джерел енергії [8]. Нашій країні необхідно було впровадити дану директиву до початку 2014 року відповідно до обов'язків в Енергетичному товаристві. Важливим аспектом даного документа є мінімізація в порівнянні з викопних палив парникових газів до показника 35% і менше. Але існує низка проблем, що перешкоджає впровадженню енергетичних полів. Насамперед, головним питанням, що необхідно вирішити це відсутність енергетичних культур у класифікаторі. Першим кроком для її вирішення стало включення енергетичної верби в даний класифікатор, що не виключає можливості для створення юридичної проблеми у виробників. Це виникає за рахунок того, що виробнику є необхідною умовою як сплата ПДВ при утворенні бізнес відносин з інвестором, тоді як ще ніякої продукції не було вирощено. Причиною цього є самі сажанці, які вважають за готову продукцію, коли як вони використані для закладки нової плантації. Також, ще однією проблемою є те, що виробник не вважатиметься сільськогосподарським виробником до того часу, поки не буде зібрано та не буде продано перший урожай. Задля сприяння стрімкого розвитку вирощування енергетичних культур, необхідним є запровадження механізмів держ стимулювання. Як приклад, це може бути надання субсидій для певного виду плантації, а також часткове покриття державою відсоткових ставок банків по кредитах.

Таблиця 1.1

Інструменти стимулювання вирощування енергетичних культур в країнах Європейського Союзу		
Країни	Стимули	Механізми реалізації
Австрія	Великий ринок для біопалив, у т.ч. гранул.	«Зелений» тариф на електроенергію з біомаси/біогазу. Додатковий бонус 4 євроцента/кВт год для електроенергії з енергокультур з 2008 р.
Великобританія	Обмежені ресурси деревної біомаси.	Субсидія на створення плантацій енергокультур: 800-1000 фунтів/га (верба, міскантус, тополя та ін.). Сертифікати за використання ВДЕ для виробництва електроенергії
Данія	Високі ціни на біомасу	
Іспанія	Великий потенціал земель, доступних для вирощування енергокультур	Спеціальний «регульований» тариф на електроенергію з енергокультур.
Італія	Реформа цукрової галузі.	«Зелений» тариф на електроенергію з біомаси/біогазу.
Німеччина	Стимулювання виробництва біогазу для подачі в мережу. Стимулювання виробництва біопалив 2-го покоління.	«Зелений» тариф на електроенергію з біомаси/біогазу.
Польща	Законодавство з виробництва електроенергії з біомаси (стимулювання використання сільськогосподарської біомаси).	
Румунія	Є значні площі, доступні для вирощування енергокультур.	
Фінляндія	Великий ринок/попит на біомасу.	Субсидія на створення швидкоростучих лісових плантацій та на вирощування двукісточника тростино-подібного: 500-700 євро/га/рік.
Франція	Фонд для проведення реформи цукрової галузі (64 млн. євро). Акцент на очистці стічних вод і захисті водоносних горизонтів.	
Швеція	Податок на викиди CO <sub>2</sub> . Великий ринок/попит на біомасу.	Субсидія на створення плантацій верби: 500 євро/га.

Відповідно до оцінок Біоенергетичної асоціації, приблизно 4 млн га сільськогосподарських земель в Україні не використовуються, тому є придатними для засадження енергетичних культур. Це зумовлює помітний потенціал стосовно задіяння цих земель для видобутку біопалива для покращення енергетичного становища в країні [8].

Інтерес до швидкоростучих видів деревини визначається їх значним природоохоронним потенціалом таких як захист ґрунтів, знищення біогенних елементів тощо. Більша частка забруднювачів (біогенних елементів, важких металів та ін.), що утворюються в наслідку виробничих і сільськогосподарських операцій, таких як обов'язкове потрапляє в природні екосистеми, спричиняючи їх посилене забруднення і викликаючи серйозні екологічні наслідки [8].

Використання енергетичних культур є одним із шляхів вирішення цієї проблеми. У зв'язку з цим верба представляє особливий інтерес як рослина, що може рости в торф'яних болотах, в умовах високої вологості і на ґрунтах, що

характеризуються низькою плодючістю і високим вмістом органічних і мінеральних забруднювачів [8].

Верба - це енергетично ефективна непродовольча культура, тому її вирощування не спричинить змін у виробництві продуктів харчування.

Оскільки екологічні проблеми особливо загострюються, оцінка впливу верби на навколишнє середовище є важливим аспектом при плануванні та реалізації проекту [8].

Важливим аспектом є також ефективність зростання енергії верби. Ефективність - це складна категорія, що показує ефективність конкретного процесу і визначається співвідношенням благотворного ефекту на витрати, що забезпечують його отримання [9].

Багатогранний характер цієї категорії визначає вивчення різних видів ефективності, що дозволяють провести детальний аналіз виробництва. Однак оцінка ефективності одного критерію недостатня, тому необхідно провести всебічний аналіз для отримання реальних даних про об'єкт дослідження, щоб запобігти ризикам, які можуть виникнути в майбутньому. Пропонується визначити ефективність виробництва енергетичних культур за п'ятьма критеріями: технологічному, енергетичному, економічному, екологічному, соціальному, політичному [9].

На основі запропонованого підходу оцінювалася цінність кожного з критеріїв ефективності умов виробництва верби. Для будь-якої продукції споживання енергії є типовим. У рослинництві, що є галуззю сільськогосподарського виробництва, здійснюються процеси трансформації сонячної радіації в енергію органічної речовини. У процесі трансформації задіяні такі типи енергії [9]:

- поновлювана (енергія ґрунту, енергія сонця, температура ґрунту і повітря);
- непоновлювальна (енергетичні ресурси – електроенергія, бензин, дизельне паливо; енергія) [9];

- енергія живої праці. Енергоефективність проявляється в отриманні найбільшої кількості корисної енергії в продукті з найменшими витратами виробництва.

На енергоефективність сільськогосподарських культур впливають такі фактори [9]:

- кліматичні і погодні умови (фотосинтетичне активне випромінювання, вміст гумусу в ґрунті, кількість опадів, температура, властивості використовуваних сортів);

- стан технічної підтримки (система обладнання та машин, технічний стан засобів виробництва, матеріально-технічне забезпечення);

- технологічні чинники (система обробітку ґрунту, система добрив, система боротьби з шкідниками і хворобами);

- організаційно-економічні фактори (організація виробництва, планування виробництва, рівень кваліфікації співробітників, реєстрація та контроль, мотивація співробітників) [9].

У виробництві енергетичних культур використовується відновлювальна, невідновлювальна і енергія живої праці [9].

Проведено дослідження і оцінений коефіцієнт енергоефективності верби для умов західних регіонів України. Передбачалося, що будуть використовуватися переважно вітчизняні технології та сучасні технології виробництва. Витрати на енергію при виробництві верби і виробництво тріски протягом однорічного періоду ротації складають 24,33 ГДж / га, що на 12,38 ГДж / га менше, як в дворічної ротації, а 30,56 ГДж / га менше, ніж у трьох - рівень. Однак середні річні витрати на енергію є найнижчими протягом трирічного циклу і складають 18,3 ГДж / га, що на 6,03 ГДж / га менше, ніж за один рік, і на 0,06 ГДж / га менше, ніж у дворічних циклах. Як видно з розрахунків, найвищий вихід сухої маси на рік виходить в разі збору один раз в три роки і становить 21,47 т / га, що на 5,40 т / га більше, ніж у дворічному циклі, і 6,66 т / га більше ніж на один рік [9]. Це позитивна тенденція. У зв'язку з тим, що енергетичні витрати в динаміці суттєво не збільшуються, оскільки

найбільші витрати витрачаються на перший рік вирощування, а енергетична цінність врожаю збільшується, а коефіцієнт енергоефективності відповідно збільшується. Найвищий коефіцієнт енергоефективності досягається в разі збору один раз в три роки, і він дорівнює 22,99, що на 11,81 більше, ніж за один рік, і на 6,14 більше, ніж за два роки. Таким чином, можна сказати, що урожай верби раз в три роки дає найвищий вихід сухої маси і найвищу енергетичну ефективність в порівнянні з одно- і дворічними циклами [9]. Економічна ефективність показує кінцевий ефект використання живого праці та засобів виробництва. В рослинництві це відбивається як отримання максимальної кількості продуктів на одиницю площі при мінімальних витратах на проживання і оплачений працю. Для визначення рентабельності собівартості виробництва верби відповідно до технологічними операціями [9].

Велику питому вагу у структурі затрат займає збір верби – 52,04%. Це пов'язано з високими витратами палива на збір та транспортування деревини. Значну частину, а саме – 25,50% у структурі витрат складають витрати на догляд насаджень та заготовку черенків. Найменшу частку у структурі займає збір маточних плантацій – 2,85% [9].

Економічну ефективність виробництва енергетичної верби визначаємо за допо- могою таких показників як вихід біомаси, собівартість 1т продукції, прибуток з розра- хунку на 1 га плантації, рівень рентабельності. На підставі існуючих технологічних карт з урахуванням природно-кліматичних умов та використання сучасної вітчизняної техніки і технологій, нами зроблена оцінка показників економічної ефективності виробництва верби в умовах західних областей України (таблиця 1.2). При виході сухої біомаси верби 30 т/га, собівартість однієї тони біомаси верби становить 318 грн./т, що на 349 грн./т менше, ніж ціна реалізації. Відповідно до цього, виручка від реалізації продукції становить 20010 грн.

Таблиця 1.2

№	Елементи	Збір у трирічному циклі
1	Вихід сухої біомаси т/га	30

### Продовження таблиці 1.2

2	Собівартість сухої біомаси, грн.	9537
3	Собівартість однієї тони сухої біомаси, грн/т	318
4	Ціна реалізації продукції, грн/т	667
5	Виручка від реалізації, грн	20010
6	Прибуток, грн	10237
7	Рівень рентабельності, %	109,44

Отже, інвестиції можуть бути покриті після першого врожаю верби, оскільки прибуток від продажу верби становить 10437 грн. з гектара, з трирічним циклом збору. Рівень прибутковості дорівнює 109,44% і показує, який прибуток буде отримана за кожну гривню, витрачену на виробництво і реалізацію продукції.

### **1.3.3 Конструкції сушильних пристроїв для сушіння паливних брикетів**

#### **1. Конвеєрні сушарки**

Даний тип сушарки описується системою сушки продукту на рухомому перфорованому конвеєрі і призначений для сушки запобігливих матеріалів, що мають низьку питому вагу. Габарити і продуктивність сушарки мають властивість сильно відрізнятися відштовхуючись від крайностей проекту, враховуючи можливість корегування як поверхні рухомого конвеєра так і кількості конвеєрів. Система доставки продукту залежить від типу самого продукту або нужд проекту, також можливе встановлення бункера з дозатором або з нахиляючимся пристроєм подачі [12].

В залежності від потреб вся сушарка може бути виготовлена з нержавіючої сталі або тільки окремих деталей, які контактують з вологим продуктом. Сушарка оснащена системою пилоподавлення з циклонами, причому показники викидів пилу і шуму значно нижче, ніж в українських допустимих [12].

Сушарки фірми Scolari даного типу встановлюються дуже легко, навіть в закритому приміщенні незважаючи на високу продуктивність обладнання. Робоче повітря в сушильних машинах конвеєрного типу зазвичай супроводжується відносно низькою температурою, а саме 45-140°C, яка вибирається враховуючи типу продукту сушіння і теплоносія. На додаток до можливості отримання тепла з використанням традиційних видів палива (природного газу, зрідженого газу), сушарка Scolari також буде працювати з альтернативними джерелами тепла: гарячою водою, паром, перегрітою паром, термічним маслом та іншими [12].

Завдяки твердопаливним теплогенераторам також є можливість отримати тепло від котла як на твердому паливі, так і від твердих побутових відходів, вологої біомаси тощо [12].

Панель управління сушарки обладнана системою безпеки, яка постійно контролює робочу температуру процесу. Також є можливість встановлення системи пожежогасіння всередині сушарки. Новітня система автоматизації процесу сушіння може управлятися з сенсорної панелі управління сушарки, і через комп'ютер, підключений за допомогою спеціального порта. При необхідності панель управління може бути перезавантажена або оновлена безпосередньо з головного технічного центру через інтернет підключення [12].

Швидкість рухомих конвеєрів і час впливу продукту на робоче повітря автоматично регулюються системою автоматизації враховуючи тип продукту і необхідної кінцевої вологості, введеної оператором на початку процесу сушіння. Потім сушарка працює в повністю автоматичному режимі без втручання оператора [12].

Осушувач Scolari 1T може працювати як в режимі струму, так і в режимі порції. Має один рухомий конвеєр.

Сушарка 1T може нормально працювати при не високих температурах сушки і призначена для низьких і середніх швидкостей випаровування [12].

Вологий матеріал завантажується через бункер за допомогою дозатора або через похилий живильник, через який однорідний шар продукту подається

на сушильний конвеєр. Конвеєр виконаний у вигляді перфорованої стрічки, через яку проходить гаряче повітря, що висушує продукт. Це повітря витягується верхнім вентилятором і після видалення пилу в високоефективному циклоні викидається в атмосферу [12].

Сушарка може працювати в трьох режимах: сушка, сушка та охолодження, тільки охолодження. [12]



Рис. 1.2 Конвеєрна сушарка

До вібруючої конвеєрної сушарки з інфрачервоним випромінюванням входить подпружинений корпус, що включає в себе механічний вібратор, конвеєр для переміщення сипучих продуктів, секцію інфрачервоних випромінювачів, завантажувальну і розвантажувальну шийку. Також включає в себе деформовану поверхню конвеєра і ексцентриковий вал з противагою на пружних опорних вузлах приводного ролика [13].

Сушарка даного типу має горизонтальний вібраційний конвеєр з робочим корпусом у вигляді прямокутного лотка з корозійностійкої сталі. У верхній частині лотка встановлені стаціонарні касети інфрачервоних випромінювачів, секції поділу пара і секція охолодження продукту, з'єднані з гнучкими каналами відповідно до вентиляторів вихлопу і потоку. Недоліком такої сушарки є висока металева і енергетична інтенсивність, досить велике динамічне навантаження на опорні вузли і труднощі в балансуванні системи [13].



Вібруюча конвеєрна сушарка з інфрачервоним випромінюванням складається з корпусу під яким знаходяться пружини, що включає в себе механічний вібратор, конвеєр для переміщення сипучих продуктів, секцію інфрачервоних випромінювачів, завантажувальну і розвантажувальну шийку. Також включає в себе деформовану поверхню конвеєра і ексцентриковий вал з противагою на пружних опорних вузлах приводного ролика [13].

Ця сушарка є в певному сенсі горизонтальним вібраційним конвеєром з робочим корпусом у вигляді прямокутного короба з корозійностійкої сталі. У верхній частині лотка встановлені стаціонарні касети інфрачервоних випромінювачів, секції поділу пари і секція охолодження продукту, що з'єднані з гнучкими каналами відповідно до вентилятора вихлопу і вентилятора потоку. Недоліком такої сушарки є висока металева і енергетична інтенсивність, досить велике динамічне навантаження на опорні вузли і труднощі в балансуванні системи [13].

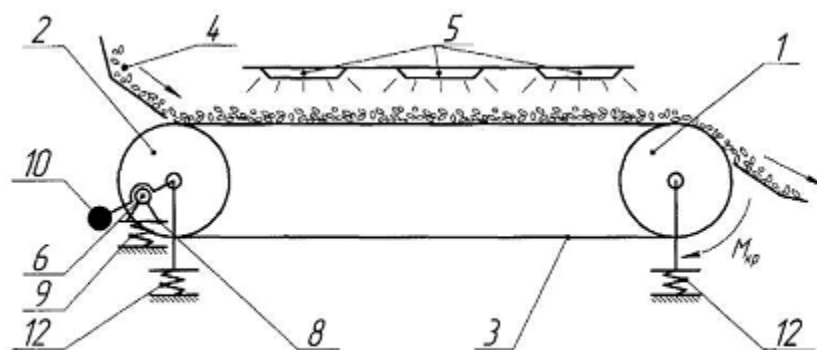


Fig. 1

Рисунок 1.3 – Вібруюча конвеєрна сушарка

Конвеєрна сушарка містить сушильну камеру з п'ятьма стрічками, між якими встановлені парові калорифери, перегородки для створення вертикальних каналів шириною складають 0,8...1,3 і 1,5...2,0 м. У той же час в нижній частині канали шириною 1,5...2,0 м встановлені вентилятори з двох сторін сушарки для циркуляції повітря [14].

Недоліками цієї сушарки є відсутність повітронепроникного обсягу і неможливість створення необхідних режимів сушіння, а також той факт, що

сухі продукти, що містяться на нижніх конвеєрах, сушаться з більш глибоким повітрям, ніж сирі продукти на стрічках верхніх конвеєрів, що призводить до різкого зменшення якості продукції [14].

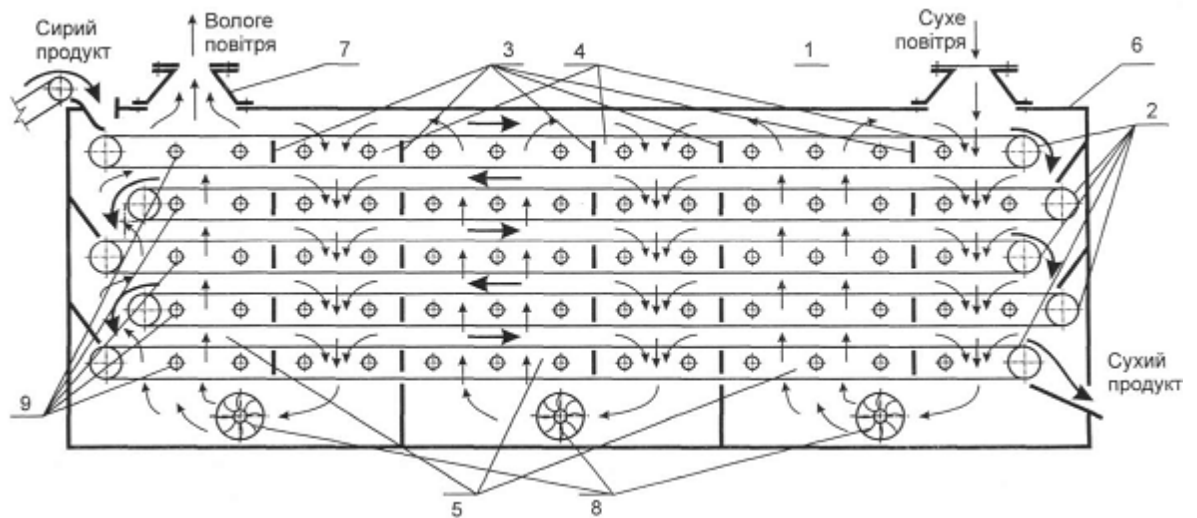


Рисунок 1.4 – Конвеєрна сушарка

#### Барабанні сушарки

Процес сушіння відбувається в середині барабана, в середині якого знаходиться насадка, що підбирає і змішує сировину. В середині барабана циркулюють димові гази, що утворюються в теплогенераторі, циркулюють в процесі спалювання деревини. В результаті вологий матеріал завантажують з одного боку барабана, постійно помішуючи в потоці димових газів і пересувається, при сушкці на інший кінець, де відбувається його вивантаження [14].

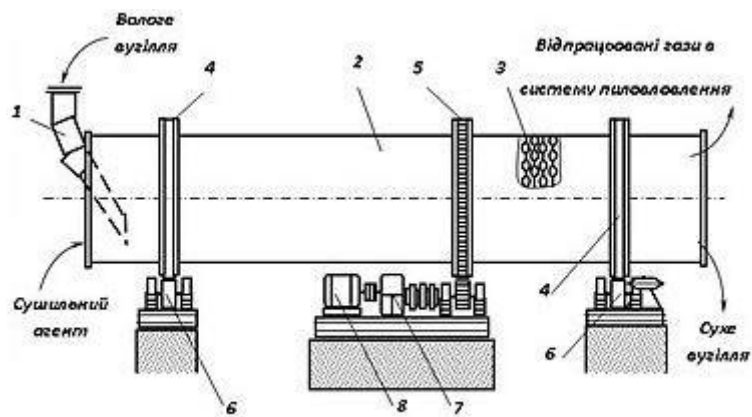
Сушарка барабан приварений до циліндра 2 з листової сталі, стінки якого приварені до внутрішніх ланцюговим кріпленням (шарніри) Барабан 2 встановлений на двох стрічках 4 і обертає дві пари роликів 6 електродвигуном 8 і коробкою передач 7 через зубчасту шестерню 5 приводу, розібрану на її зовнішній поверхні. Ланцюгові сопла 3 служать для запобігання забруднення барабана і розпушує матеріал під час сушіння [14].

Вихідний вологий матеріал надходить до барабана на завантажувальному лотку. Переміщення матеріалу забезпечується обертанням барабана і його нахилом під кутом 3-5 градусів до горизонту. Вологий

матеріал під час руху послаблюється, змішується з форсунками і висушується від зіткнення з гарячими газами і нагрітої внутрішньої поверхнею барабана. Сухий матеріал вивантажують із барабана через розвантажувальну камеру. Вихлопні димові гази ретельно очищаються від пилу в батареях і мокрих пилозбірниках, а після очищення викидаються в атмосферу [14].

Тривалість висушування вугілля варіюється в межах 15-40 хвилин. Для запобігання видалення висушеного матеріалу швидкість газів на виході з барабана не перевищує 2-3 м / с для невеликого концентрату і 0,5-1 м / с для флотації. Розведення в печі перед барабаном становить 19,6-29,4 Па-пі Силя барабан - 294-392 Па для видихання вихлопних газів - 883-981 Па його - 294-392 Па.

Питома витрата тепла в сушильній барабані до 4000-6300 кДж / кг на 1 тонну испаренной води, включаючи вугілля для нагрівання - 6%, випаровування вологи - 72% втрати газів, відходів і радіації - 22%. Витрати на електроенергію на 1 тонну испаренной води становлять 20-75 кВт / т. [14]



1 – завантажувальний лоток; 2 – барабан; 3 – ланцюгові насадки; 4- бандаж; 5- привідна вінцева шестерня; 6 – котки; 7- редуктор; 8 – електродвигун

Рис 1.5 – Барабанна сушарка

Корисна модель відноситься до технології переробки сипучих матеріалів в обертових барабанах і може використовуватися в харчовій, хімічній, металургійній та інших галузях промисловості [16].

Недоліками цієї конструкції є нерівномірність сухості матеріалу через значну різницю в часі перебування матеріалу, який ближче до узгодженого профілем лопатки і до матеріалу, який розташований безпосередньо на лопатці. Крім того, утворення застійних зон в лопатці з можливістю застою матеріалу [16].

Основою корисної моделі є завдання усунення недоліків шляхом узгодження часу перебування матеріалу і зменшення застійних зон в плечовій лопаті [16].

Завдання вирішена тим, що поверхня профілю леза виконана з перфорацією. З найкращою продуктивністю щільність перфорації, яка характеризується коефіцієнтом живого перетину, нерівномірна по довжині вздовж профілю лопатки [16].

Матеріал 3 приманки захоплюється профільованими лопатками 2 і піднімається в напрямку обертання барабана. В цьому випадку матеріал в процесі обертання виливається з леза з профілю розрізу лопатки і через отвори в лопатках 4 [16].

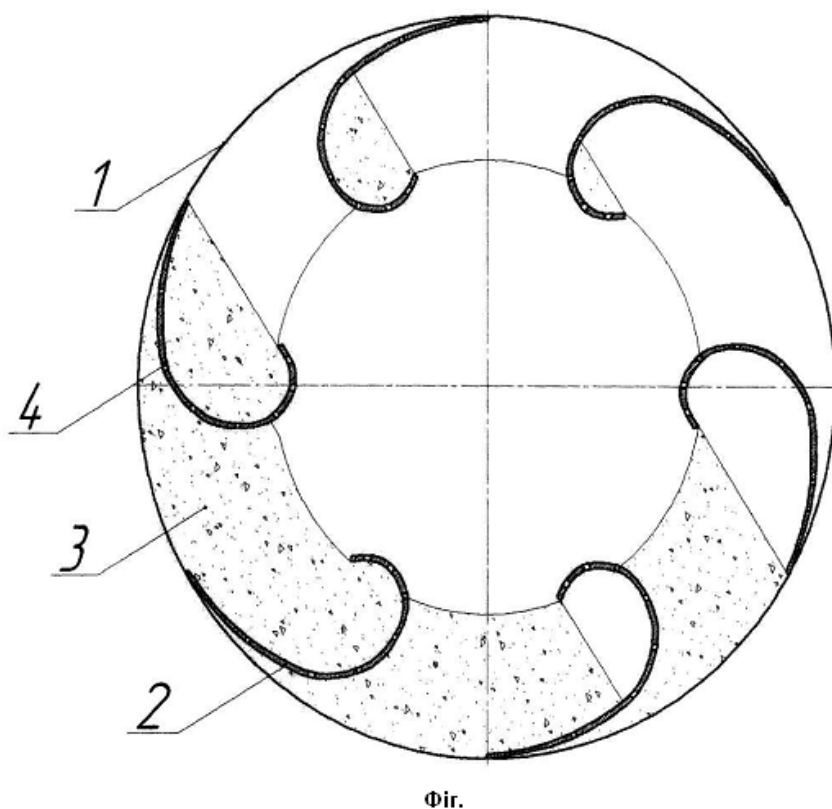


Рисунок 1.6 – Барабанна сушарка

Барабанна сушарка, що представляє собою циліндричний барабан з встановленими всередині нього соплами, змонтована на опорних роликах, має вінцеву шестерню і привід, і вивантажувальну камеру, які прикріплені до одного кінця барабана, а з іншого боку підтримуючий пристрій з сушильним гвинтом, який відрізняється тим, що циліндричний барабан складається з двох циліндрів різних діаметрів, які з'єднані один з одним за допомогою усіченого конуса, а перехід від меншого циліндра на один більше знаходиться на відстані від 10 до 25% від точки входу вологого продукту [17].

Недоліком такої сушарки є те, що при сушці жом стає легшим. Що призводить до переносу дрібних частинок жому при допомозі гарячого повітря в зону висушеного жому. В цьому випадку відбувається змішення висушеної целюлози з вологим жомом, що зменшує значення сухої целюлози і скорочує тривалість її зберігання [17].

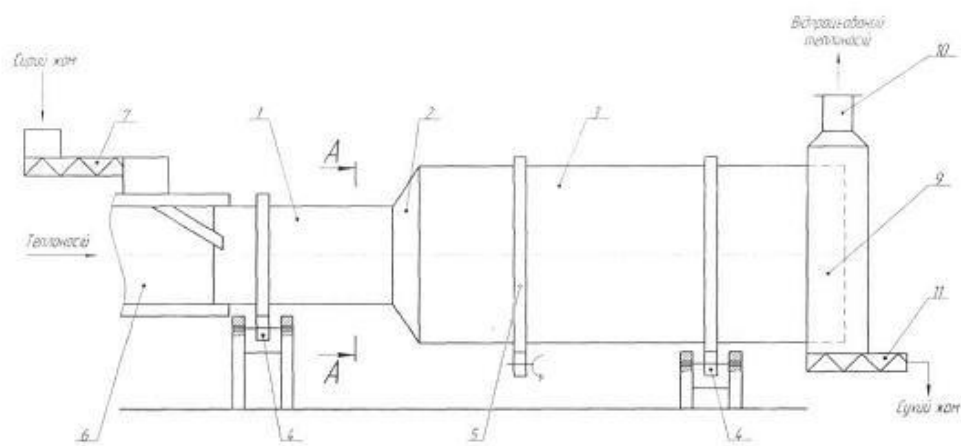


Fig. 1

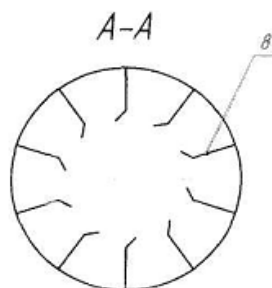


Fig. 2

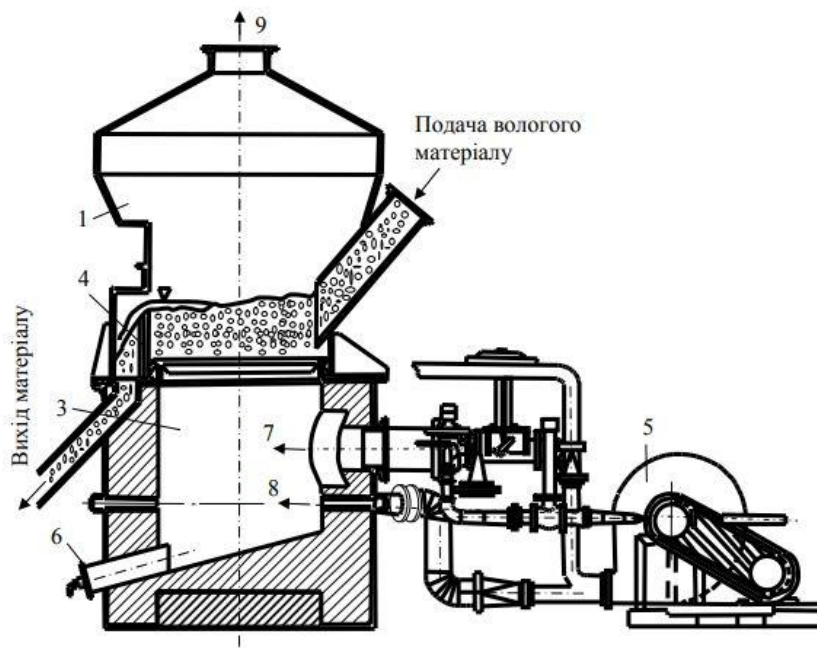
Рисунок 1.7 – Барабанна сушарка

### Сушарки з псевдокиплячим шаром

Використовуються для сушіння різних дрібнозернистих матеріалів. Сушарки виконані у вигляді циліндричної або прямокутної камери, в якій всередині однієї або декількох східчастих решіток сушильний матеріал барботує. На рисунку 1.5 показана схема сушіння контуру циркуляції. Для підтримки рівномірного «кипіння» частинок в шарі сушильний агент (повітря або газоподібні продукти згоряння) рівномірно подається на решітку і розподіляється з відповідною швидкістю по всій площі [18].

Подача вологого матеріалу на решітку відбувається у верхній частині сушильної камери, а вибір висушеного матеріалу здійснюється на іншому шарі матеріалу на дні камери [18].

Переваги сушарки в псевдокиплячому шарі - висока інтенсивність сушки, яка майже однакова у всьому об'ємі псевдожідкостного шару і є можливість контролювати час перебування матеріалу в сушарці (в межах діапазону хвилин до десятків хвилин); Недоліками є значна кількість споживання електроенергії для створення тиску газу під ґратами 2,94-4,9 кПа (від 300 до 500 мм), що забезпечує нижній шар, а також подрібнення частинок матеріалу в псевдокиплячому стані. У наш час сушарки з псевдокиплячому шаром замінюють барабанні сушарки і сушарки для труб. [18]



1 – робоча камера сушарки; 2 – підрешітковий простір; 3 – решітка; 4 – електровентилятор; 5 – люк для чищення; 6 – гідравлічний поріг; 7 – подача сушильного агента; 8 – подача повітря для регулювання температури; 9 – відведення відпрацьованих газів до циклона

Рис 1.8 Сушарка з псевдокиплячим шаром

Винахід відноситься до сушарок з псевдозрідженим шаром з непрямым нагріванням для сушіння вологих дрібнозернистих сипких матеріалів, що містять газонепроникний корпус з вбудованими елементами теплообмінника, що проходять над газом і щонайменше з одним розвантажувальним пристроєм для висушеної маси матеріал, що поставляється на стороні подачі газу. Сушарка з псевдозрідженим шаром згідно з винаходом відрізняється тим, що корисна жива частина потоку тіла в області вбудованих елементів теплообмінника в тій же області поперечного перерізу тіла збільшується по відношенню до висоти інтегральних елементів теплообмінника в напрямку потоку текучого середовища. Таким чином, неприпустиме розширення надійно запобігає стаціонарного псевдозрідженим шаром [19].

Бажано, щоб теплопередача в зваженому шарі або в псевдозрідженому шарі була дуже високою швидкістю потоку газу, що проходить через сушарку.

Починаючи з певної критичної швидкості, нерухомий псевдозріджений шар входить в летючу область, оскільки видалення дрібнозернистого матеріалу з псевдозрідженим шаром збільшується. В результаті виникає шорсткість матеріалу псевдозрідженим шаром, що негативно позначається на механізмі перебігу і теплообміну в псевдозрідженому шарі [19].

Через випаровування води всередині сушарки потік матеріалу у вигляді газопарові суміші в напрямку потоку збільшується, що призводить до відповідного збільшення швидкості газового потоку 30 або парової суміші в сушарці [19].

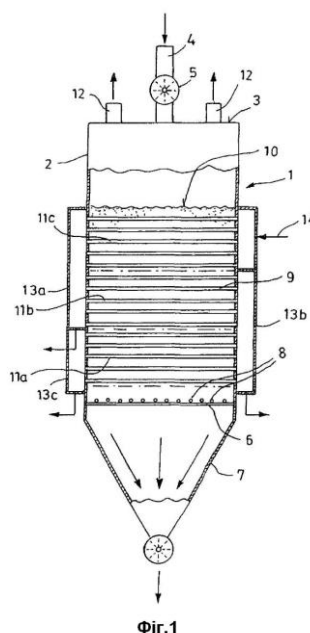


Рисунок 1.9 – Сушарка з псевдокиплячим шаром

Сопло для осушення висушеного матеріалу монтується під кутом, відмінним від прямого, і знаходиться на висоті, де для наступної стадії виробництва буде обраний тільки висушений матеріал з меншою щільністю, ніж вологий. Це, в свою чергу, запобігає потраплянню вологого матеріалу в випускне сопло. Телескопічна накладка також встановлюється на розвантажувальне сопло, що дозволяє регулювати розвантаження матеріалу в залежності від його вологості [19].

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, який показує поздовжній розріз сушарки з псевдозрідженим шаром. Сушарка містить



корпус 2 прямокутного перетину зі стінками 4, кришкою 3, дном 8, газорозподільним пристроєм 10, встановленим на стінках 13 і 4, вантаженням 5 і розвантаженням 12 труб, встановленими на випускному соплі телескопічного сопла 11, а також газові труби 1 і 9. Завантажувальна труба 5 забезпечена газовим каналом 6 для подачі сировини в корпус 2 сушарки.

Сопло 5 приймає сировину, а газове з'єднання 9 подає псевдоожіжаючий агент, який утворює псевдозріджений шар 7 оброблюваного матеріалу. Подача в газовий канал 6 псевдоожіжаючого агента забезпечує надійне і ефективне розподіл вологого матеріалу в обсязі корпусу 2. Через вищезгаданого випускного сопла 12 буде видаватися тільки висушений матеріал. Встановлена на ньому телескопічна насадка дозволяє регулювати розвантаження матеріалу в залежності від його вологості. Витягнутий сушильний агент виводиться з пристрою через трубу 1.

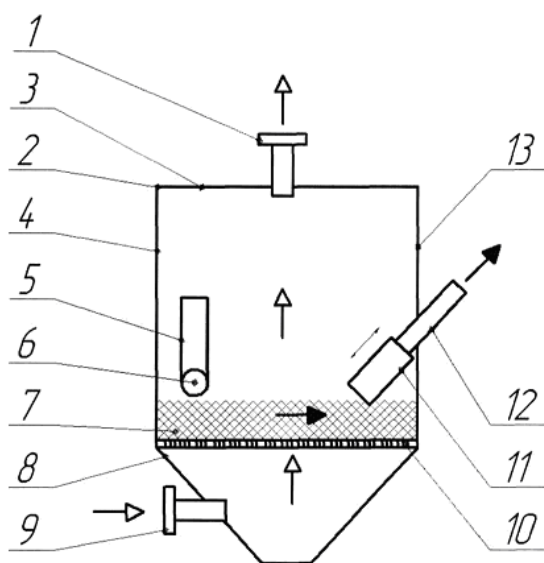
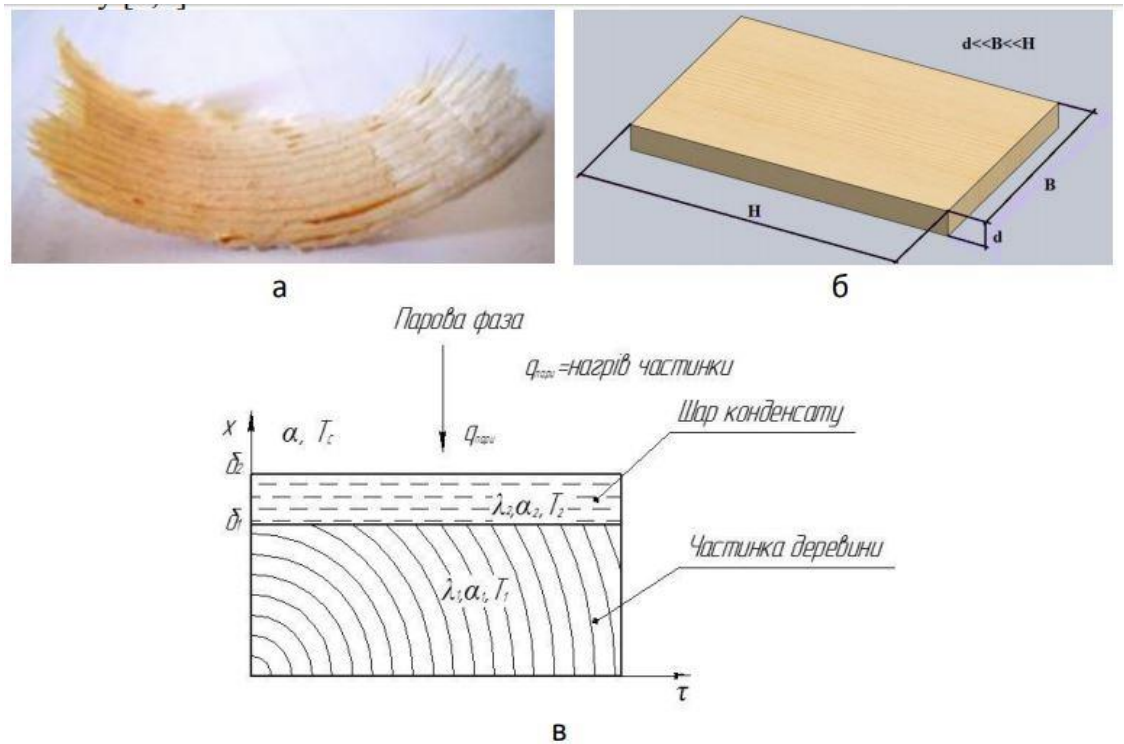


Рисунок 1.10 – Сушарка з псевдокиплячим шаром

Стадія пропарювання деревини в технологічній лінії виготовлення паливних брикетів безпосередньо супроводжується одним з фізичних явищ обробки матеріалу перед брикетуванням, а саме процесом прогріву часток деревини. Розглядаючи фізичну модель процесу пропарювання об'єму часток деревини можна виділити частинку матеріалу (трісочку) (рисунок 1.6 а,б). Процес пропарювання супроводжується підводом пари до частинки деревини

та прогрівом її до температури самої пари. Під час стадії пропарки частинка насичується вологою. За рахунок теплового потоку, що підводиться, відбувається прогрів частинки (рис.2.2 в). З нагрітої частинки деревини виділяється конденсат, що збирається на її поверхні. При температурі 130-150 починається процес виділення складової деревини лігніну [20].



а - частинка деревини; б - загальний вигляд частинки деревини; в - фізична модель частинки деревини

Рис. 1.11 Частинка матеріалу деревини

Створення фізичної моделі процесу прогріву часток з врахуванням всіх його особливостей необхідне для того, щоб виникла можливість опису засобами математичного аналізу існуючих законів взаємодій фізичних явищ. Мета розрахунку визначення розподілу температур в шарі частинки деревини під час її прогріву та визначення часу прогріву частинки деревини. Умови однозначності: Геометричні частинка деревини плоска і нескінченна у просторі та часі, ширина і висота частинки набагато перевищують її товщину. Товщина частинки деревини 1  $\delta$ , товщина конденсату 2  $\delta$ . Задача є осесиметричною.

Фізична модель сферичного тіла представлена на рисунку 2.3[23].

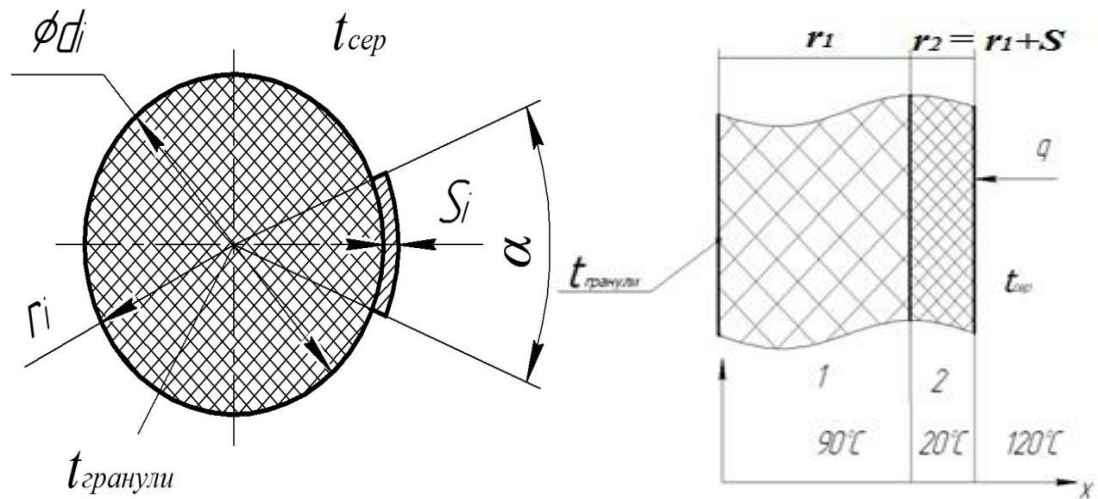


Рисунок 1.12 Фізична модель для сфери

Враховуючи те, що діаметр тріски енергетичної верби набагато менший за її довжину, то буде доцільніше вибрати циліндричну модель за основну.

Різні способи сушіння засновані на передачі тепла від нагрітих поверхонь шляхом теплопровідності. В деяких випадках при нагріванні або охолодження тіл після сушіння необхідно розрахувати тривалість протікання цих процесів. Тому доцільно зупинитись на основних рівняннях теплопровідності.[24]

Диференціальне рівняння переносу тепла в рухомих потоках с джерелом тепла  $I_g$  має вигляд[25]:

$$Cp\gamma \frac{d\vartheta}{dt} = \text{div}(\lambda \nabla \vartheta) + I_g \quad (1.1)$$

де  $\nabla \vartheta$  – градієнт температури;

$\frac{d\vartheta}{dt}$  – повна похідна температури по часу (для твердого тіла  $u=0$ , тоді ця похідна замінюється на часткову).

Для стаціонарних умов  $\frac{d\vartheta}{dt}$  і без джерела рівняння 1.1 набуває вигляду:

$$\text{div}(\lambda \nabla \vartheta) = 0 \quad (1.2)$$

Відповідно, в стаціонарних умовах перенос тепла визначається градієнтом температури та коефіцієнтом теплопровідності.

Часткове рішення рівняння для нескінченного циліндра:

$$Q = 2\pi l \lambda \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1.3)$$

Для сушіння в псевдорозрідженому шарі, що включає рівняння для функції розподілу твердих частинок вологовмісту. Вважаємо, що сушка матеріалів в псевдорозрідженому шарі складається з наступних стадій: 1) перенесення тепла і вологи усередині твердих часток; 2) перенесення тепла і вологи поза твердою часткою поблизу її поверхні; 3) перенесення тепла і вологи в потоці газу може ускладнюватися наявністю газових пухирів. Вважаємо, що увесь газ, що поступає в псевдорозріджений шар, розподіляється між газовими пухирями і щільною фазою шару.[25]

Кінетика тепло- і масообміну між поодиноким твердою часткою і потоком газу, що омиває її, описується за допомогою рівнянь наступного виду:

$$\frac{d\omega}{dt} = g_1(T_p, \omega) \quad (1.4)$$

$$\frac{dT_p}{dt} = g_2(T_2, \omega, T_c) \quad (1.5)$$

де  $T_b, T_c$  – температура газу в газових пухирях і щільній фазі шару;  $\omega$  – вологовміст твердої частинки;  $T_p$  – температура твердої частинки.

Вважаємо, що газ в газових пухирях рухається в режимі ідеального витіснення. Теплообмін між газовими пухирями і щільною фазою шару описуватиметься за допомогою коефіцієнта теплообміну  $H_{bc}$ , який обчислюється за наступною формулою:

$$H_{bc} = 4,5 \cdot \left( \frac{\varepsilon_0 \cdot \vartheta_1^{(0)} \cdot \rho_f \cdot c}{d_b} \right) + 10,4 \cdot \left( \frac{\lambda \cdot \rho_f \cdot c_g}{d_8^{(5/2)}} \right)^{0,5} \quad (1.6)$$

де  $\varepsilon_0$  – порозність щільної фази;  $\vartheta_1^{(0)}$  – швидкість газу в проміжках між твердими частками при мінімальному псевдорозрідженні;  $\rho_f$  – густина газу;  $c_g$  – питома теплоємність газу;  $\lambda$  – теплотіврність газу;  $d_b$  – діаметр газового пухиря.

Рівняння для визначення температури газу в щільній фазі шару матиме вигляд:

$$v_f \cdot \rho_f \cdot c_g \cdot \frac{dT_B}{dx} = \frac{V_{Bp}}{V_{GE}} \cdot H_{bc} \cdot (T_B - T_c) + \frac{h_\omega \cdot S_a}{V_{GE}} \cdot (T_\omega - T_e) - \frac{N_p}{V_{GE}} \cdot m_p \cdot c_s \cdot \int_0^{\omega^*} g_2 \cdot (\omega, T_p, T_c) \cdot \varphi(\omega) d\omega = 0 \quad (1.7)$$

де  $V_{Bp}$  – частина об'єму псевдозрідженого шару, зайнятого газовими пухирями;  $V_{GE}$  – частина об'єму псевдозрідженого шару, зайнятого твердою фазою;  $N_p$  – число твердих часток в псевдозрідженому шарі;  $m_p$  – маса твердої часточки;  $c_s$  – питома теплоємність твердих часточок;  $h_\omega$  – коефіцієнт теплопередачі між газом та стінками апарата, доступна для теплообміну;  $T_\omega$  – температура стінки апарата;  $\omega^*$  – максимальне значення вологовмісту[21].

Фізичні теплопровідності частинки деревини та конденсату сталі, внутрішніх джерел енергії немає ( $q_v = 0$ ). Відомі коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  теплопровідності шарів  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ [26].

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \alpha_1 \cdot \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} \quad (1.8)$$

Межові умови 2-го роду:

$$\left. \frac{\partial T_1}{\partial \tau} \right|_{x=0} = 0 \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \alpha_1 \cdot \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} \quad (1.10)$$

Межові умови 3-го роду:

$$-\lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial x} \right|_{x=\delta_1} = \alpha \cdot (T_2 - T_c)|_{x=\delta_2} \quad (1.11)$$

Межові умови 4-го роду:

$$T_1|_{x=\delta_1} = T_2|_{x=\delta_2} \quad (1.12)$$

$$\lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial x} \right|_{x=\delta_1} = \lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial x} \right|_{x=\delta_2} \quad (1.13)$$

## Висновки

Переглянувши вище приведені варіанти апаратів та врахувавши їх переваги та недоліки, найдоцільніше буде використовувати барабанну сушарку для досягнення поставленої цілі. Також було проведено аналіз літературних та патентних джерел на базі яких було сформульовано фізичну та підібрано математичну модель процесу сушіння енергетичної верби.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ

### 2.1 Фізична модель процесу

Метою моделювання є вивчення кінетики процесу сушіння енергетичної верби.

Тріска – це подрібнена деревина до розмірів довжиною 15-50 мм та діаметром 2-4 мм. Використовується для опалення в котлах тощо.

При розробці математичної моделі приймалася наступна фізична модель процесу.

Розглядаючи фізичну модель даного процесу частинку деревини можна можна представити у вигляді нескінченного циліндра. Цей процес супроводжується підводом гарячого повітря  $q_{\text{пов}}$  до деревини та з наступним нагрівом її до температури теплоносія. За рахунок теплового потоку, що підводиться, відбувається прогрів частинки [27].

З нагрітої частинки деревини виділяється конденсат, що збирається на її поверхні. При температурі 130-150 починається процес виділення складової деревини - лігніну. На рисунку 2.1 показано фізичну модель даного процесу [27].

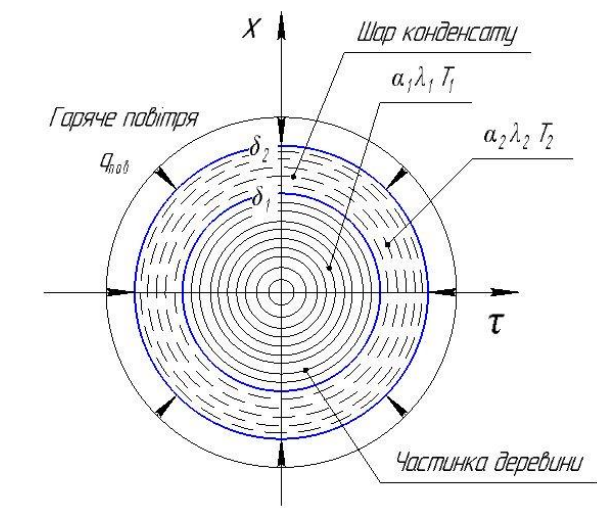


Рисунок 2.1 – Фізична модель процесу сушіння

## 2.2 Математична модель процесу сушіння

Згідно з фізичною моделлю було підібрано математичну модель процесу сушіння енергетичної верби. Циліндр радіусом  $r_0$  нагрівається через зовнішню поверхню. Температура гріючого агента  $t_{\text{сер}}$  та коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  у всіх точках однаковий і залишається постійним протягом всього періоду сушіння. В початковий момент часу при  $\tau=0$  температура є заданою функцією. При цих умовах рівняння теплопровідності має наступний вигляд [27].

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} = \alpha \left( \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right) \quad (2.1)$$

Граничні та початкові умови:

при  $\tau = 0$  та  $0 \leq r_a \leq r_0$ :

$$\vartheta = \vartheta_0 = f(r) - t_{\text{сер}} \quad (2.2)$$

при  $\tau = 0$  та  $r = 0$ :

$$\left( \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} \right)_{r=0} = 0 \quad (2.3)$$

при  $\tau = 0$  та  $r = r_0$ :

$$\left( \frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} \right)_{r=r_0} = -\frac{\alpha}{\lambda} \vartheta_{r=r_0} \quad (2.4)$$

де  $\vartheta = t - t_{\text{сер}}$

Теплофізичні властивості продукту залежать від вологовмісту матеріалу і розраховуються за такими формулами [28, 29]:

$$c_{np} = c_{c.pеч} + c_{pid}u = c_{c.pеч} + \frac{W}{100}, \quad (2.10)$$

$$c_{np} = 4370 \cdot u + 1232, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}, \quad (2.11)$$

$$\rho = \rho_{c.pеч} + \rho_{pid}u = \rho_{c.pеч} + \frac{W}{100}, \quad (2.12)$$

$$\rho = -721 \cdot u + 1632, \text{ кг/м}^3, \quad (2.13)$$

$$\lambda = 0,3 \cdot u + 0,15, \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}, \quad (2.14)$$

$$a_m = (2,218 \cdot u - 0,0821) \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (2.15)$$

$$a = \frac{\lambda}{\rho c_{np}}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (2.16)$$

$$\varepsilon = -0,7923 \cdot u + 0,6165. \quad (2.17)$$

Метод сіток є найбільш поширеним методом чисельного вирішення крайових задач для диференціальних рівнянь. Сутність методу полягає в заміні диференціального рівняння алгебраїчними. Після розв'язання цих рівнянь ми отримуємо масив значень, які є вирішенням диференціального рівняння в точках. Для вирішення цієї задачі простір, що розглядається представляють у вигляді сітки з кроками  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ . Як приклад, сітку представляють у вигляді, що показано на рисунку 2.2.

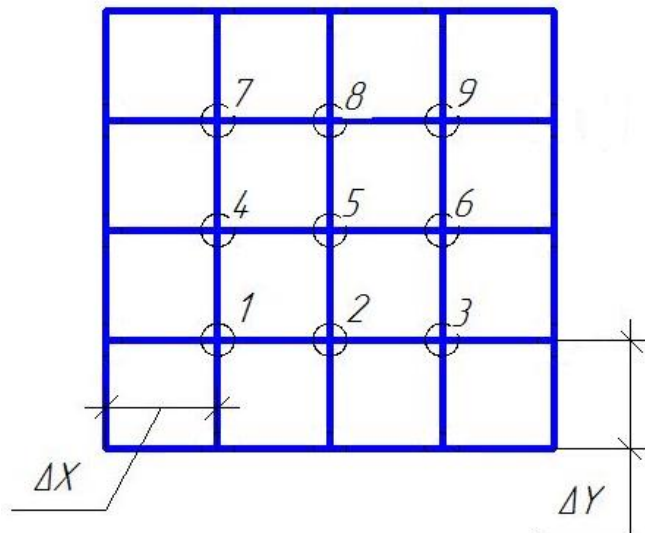


Рисунок 2.2 – Графічне зображення методу сіток

Математична модель процесу сушіння розв'язувалася методом чисельного інтегрування диференціальних рівнянь у частинних похідних (метод сіток). Результати математичного моделювання приведено у додатку Б. Візуалізація результатів розрахунків показано на рисунку 2.3 у вигляді графіка.



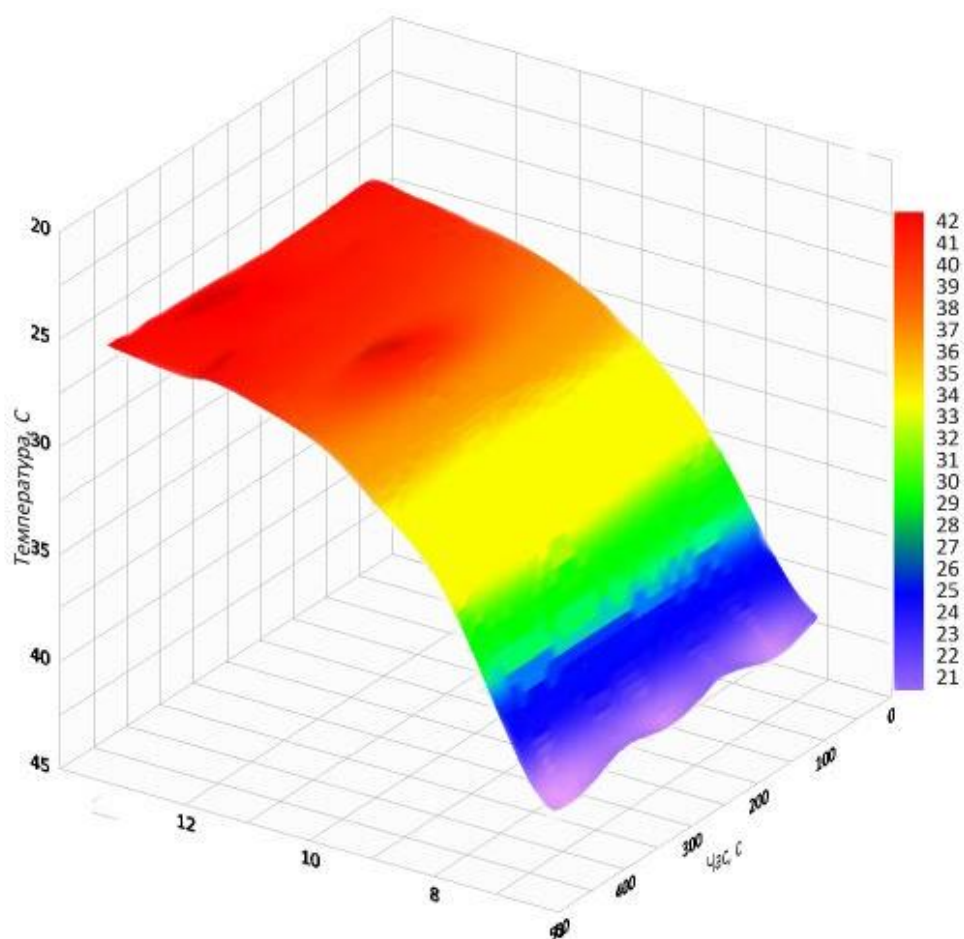


Рисунок 2.3 – Результати розв’язку математичної моделі

#### Висновки

Було сформульовано фізичну модель та розроблено математичну модель процесу сушіння енергетичної верби. Вирішено математичну модель процесу сушіння енергетичної верби та перевірено її адекватність.

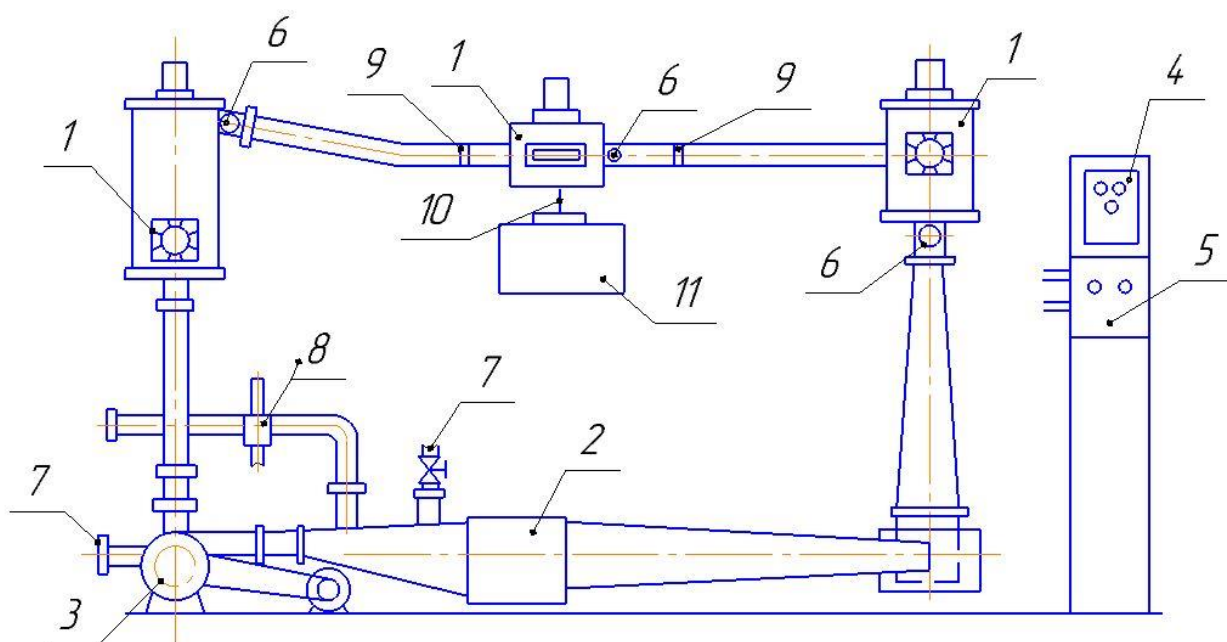
### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ

#### 3.1 Структура експериментального стенда для проведення дослідження кінетики процесу сушіння

Експериментальні дослідження проводились двома серіями.

Перша серія була виконана в інституті технічної теплофізики НАН України де було проведено ряд дослідів для вивчення процесу кінетики сушіння енергетичної верби. Друга серія виконана в НТУУ КПІ імені «Ігоря Сікорського».

Досліди проводились на експериментальній установці, яка представлена на рисунку 3.1



1 – сушильна камера; 2 – калорифер; 3 – вентилятор;  
4 – регулятор температури; 5 - щит керування; 6 – термометри опору; 7 –  
патрубки з шиберами; 8 – психометр; 9 – спеціальні решітки; 10 – штанга  
вагів; 11 – ваги

Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки

Експериментальний стенд включає систему ізольованих повітропроводів з пристроями для нагрівання та циркуляції теплоносія,

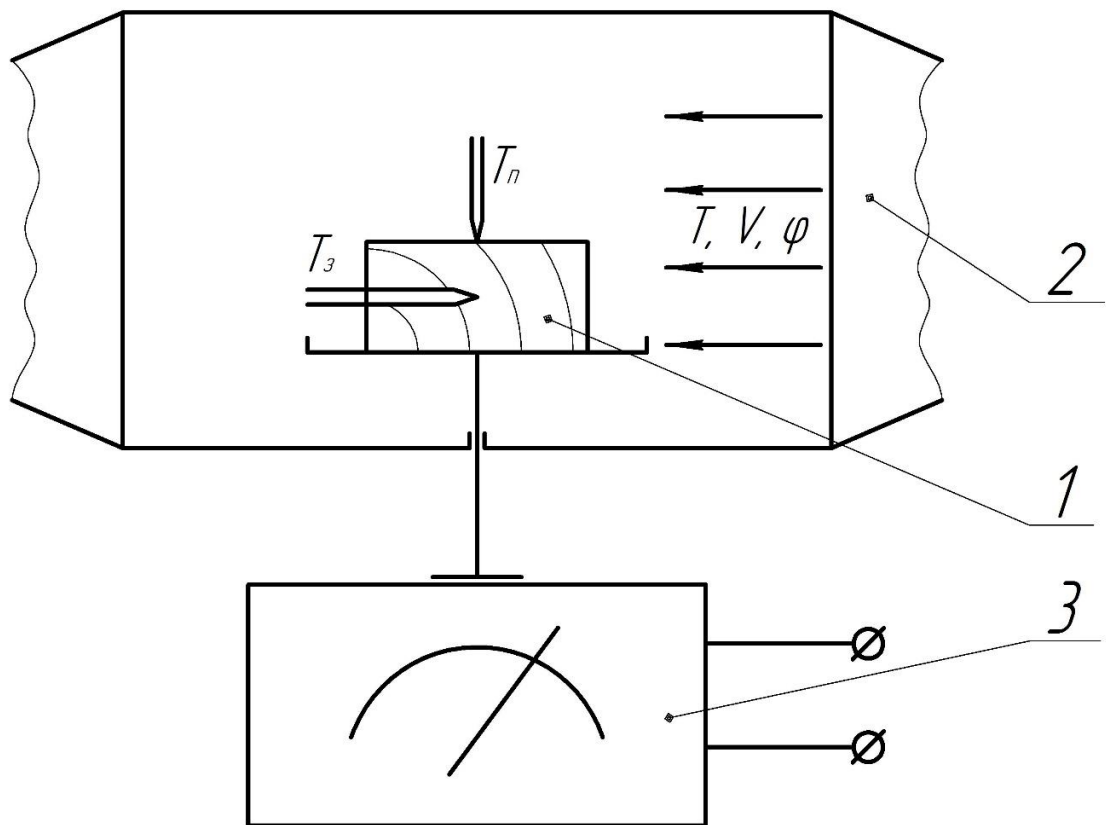
сушильних камер, системи контролю і підтримання температури теплоносія, автоматичного збору і обробки інформації про перебіг процесу сушіння.

Сушильні камери (1) мають прозорі люки, через які здійснюється завантаження зразків і спостереження за станом матеріалу під час сушіння.

Дільниця теплової підготовки повітря (2) виконана у вигляді прямокутного короба, в якому розміщений електродігрівач. Для підтримки заданої температури калорифер підключений до автоматичної системи регулювання, яка складається з електричного регулятора температури (4) та термометрів опору (6).

Рух теплоносія відбувається за допомогою відцентрового вентилятора (3) середнього тиску. Зміна швидкості руху теплоносія досягається регулюванням частоти обертання вентилятора (3) на щиті керування (5). Співвідношення між відпрацьованим та свіжим повітрям можна регулювати за допомогою шиберів на патрубках (7).

На рисунку 3.2 показано схему робочої камери



1 – дослідний зразок; 2 – робоча камера; 3 – електронні ваги

Рисунок 3.2 – Схема робочої камери

Технічна характеристика конвективного сушильного стану приведена в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Характеристика сушильного стану

Температура теплоносія	30-150 °С
Швидкість руху теплоносія	0,5 – 5 м/с

Стенд оснащений автоматизованою системою збору та обробки інформації, що включає комп'ютер, цифрові ваги AD-500, прикладну спеціалізовану комп'ютерну програму і канал вимірювання температури, який складається з аналого-цифрового перетворювача та інтерфейсу. Комп'ютерна програма дає можливість збирати інформацію відносно перебігу процесу сушіння, виконувати необхідні розрахунки і графічні побудови.

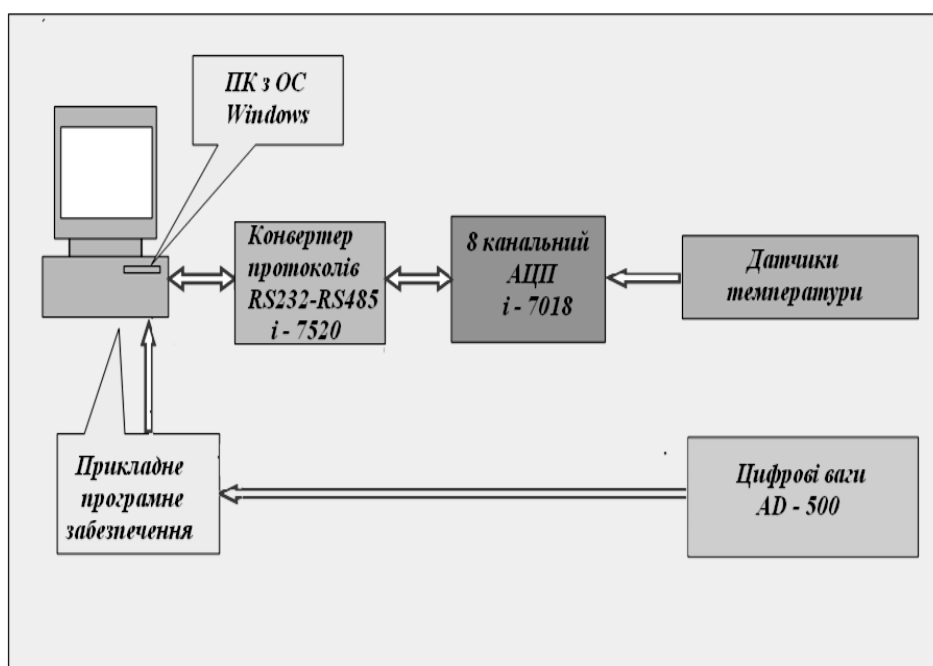


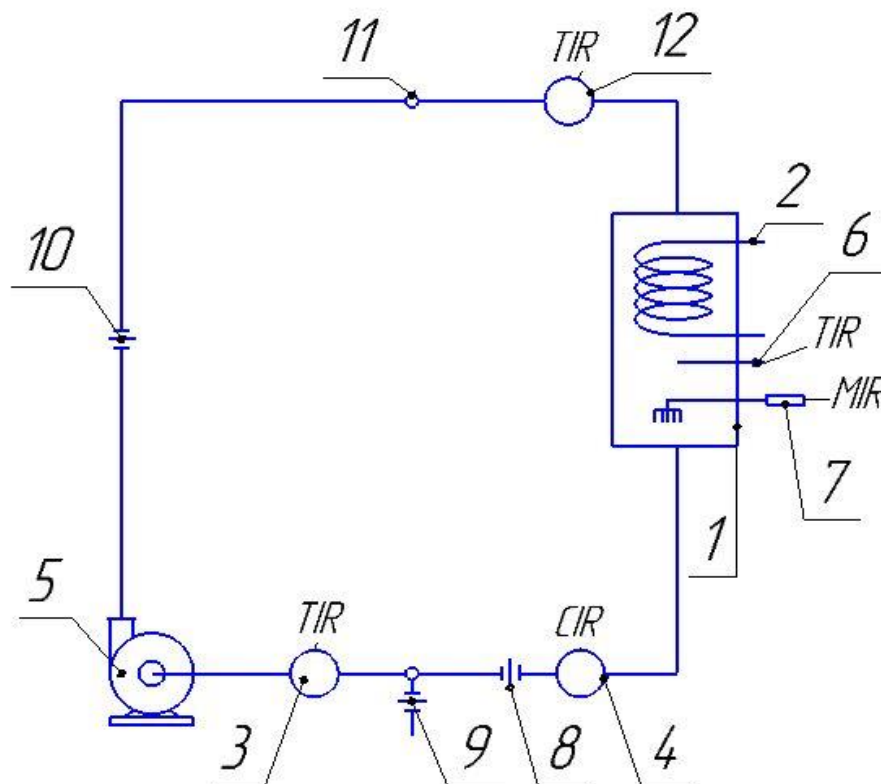
Рисунок 3.3. – Структурна схема автоматизованого збору та обробки інформації, що надходить з сушильного стану

Температура сушильного агента та зразка під час сушіння реєструється за допомогою термоелектричних перетворювачів. Основна похибка показників запису температур не перевищувала  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Швидкість повітря в сушильних камерах вимірювали за допомогою чашкового анемометра МС-13.

Також було проведено ряд дослідів на експериментальній установці з частковою рециркуляцією повітря.

Схема установки представлена на рисунку 3.4



1 – сушильна камера; 2 – калорифер; 3, 4, 6 – термопары;  
5 – вентилятор; 7 – електронні ваги; 8, 9, 10 – шибери; 11 – повітряний патрубок, 12 – термопара

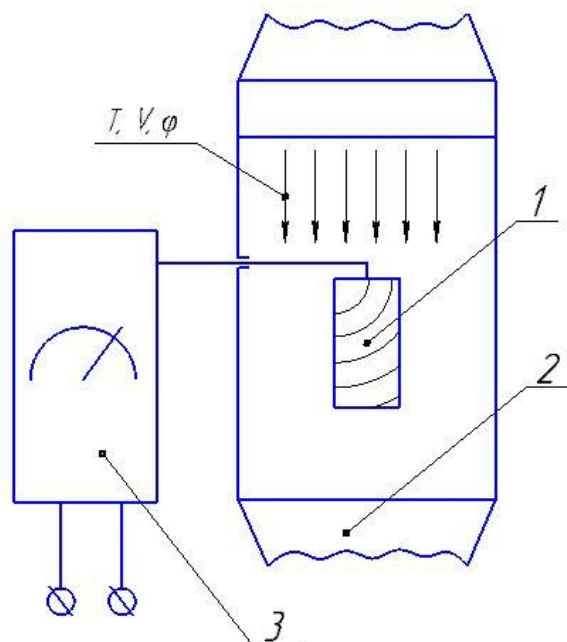
Рисунок 3.4 – Схема експериментальної установки

Даний експериментальний стенд містить сушильну камеру 1, калорифер 2, термопары 3; 4; 6; 12, що встановлені перед калорифером та після сушильної камери, вентилятор 5, електронні ваги 7 для визначення маси, що висушується, шибери 8; 9; 10 і повітряний патрубок 11 для регулювання витрати повітря.

Матеріал, що висушується, поміщають у сушильній камері на рамці, яка з'єднана з електронними вагами. Реостатом регулюється нагрів спіралі

калорифера і відповідно температура повітряної суміші, яка надходить у сушильну камеру.

Схема сушильної камери показана на рисунку 3.5



1 – дослідний зразок; 2 – робоча камера; 3 – електронні ваги

Рисунок 3.5 – Схема робочої камери

### 3.2 Методика експериментального дослідження кінетики процесу

Кінетика сушіння проводилась при сталому вологовмісті повітря.

Досліди проводились з брусками енергетичної верби які не підвергались механічній деформації та з механічною деформацією.

Для проведення дослідів матеріал готували наступним чином. Гілка енергетичної розділялась на бруски довжиною 15-20 мм. На вагах визначалась маса кожного зразка. Паралельно з цим необхідно було вивести експериментальний стенд на необхідний нам режим роботи. Після того, як теплоносій в середині стенду мав необхідну температуру дослідні зразки розміщувались в сушильній камері. В ІТТФ НАН України розташування було послідовним. На рисунку 3.6 показано дане розташування.



Рисунок 3.6 – Розташування брусків енергетичної верби

Таким же чином виконувалось розташування зразків при проведенні другої серії дослідів в НТУУ КПІ імені «Ігоря Сікорського».

Експерименти проводились при наступних значеннях параметрів: температура теплоносія: для стенду, що знаходиться в ІТТФ НАН України складала 100, 110 °С; для стенду, що знаходиться в НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського – 70 °С. Швидкість руху теплоносія складала 3-4 м/с. Довжина бруска енергетичної верби складає 10-12 мм, а діаметр – 4-6 мм.

Таким самим чином проводились досліді для брусків енергетичної верби з попередньою механічною деформацією. Сила притискування до бруска складала 150 кг.

### **3.3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

Згідно Закону України про охорону праці під час роботи лінії виробництва необхідно розробити безпечні умови праці персоналу.

Беручи до уваги те, що під час функціонування лінії виникають шкідливі фактори для здоров'я та життя людини, необхідно щоб ці фактори відповідали встановленим державним та галузевим стандартам, а також санітарним нормам та правилам.

Темою магістерської роботи є «Процес кінетики сушіння енергетичної верби».

При експлуатації обладнання працює оператор, площа приміщення  $s = 90 \text{ м}^2$ , об'єм:  $v = 450 \text{ м}^3$ . Устаткування, що розробляється, буде знаходитись в сухому приміщенні з нормальною температурою і вологістю повітря. Підлога приміщення залізобетонна. Воно відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. Для безпечної роботи персоналу на лінії необхідно ознайомитися з її конструкцією та принципом роботи, знати правила безпеки для підприємств з переробки полімерів, правила пожежної безпеки, правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

При роботі лінії з будуть наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- 1) електробезпека;
- 2) пожежна безпека;
- 3) промислове освітлення;
- 4) виробничий шум і вібрації;
- 5) частини обладнання, що рухаються та обертаються;
- 6) повітря робочої зони.

### **3.3.1 Електробезпека**

1) Клас приміщення по ступеню враження електричним струмом відноситься до I класу (тобто без підвищеної небезпеки) згідно ПУЕ;

2) Характеристика електромережі:

В аварійній ситуації для живлення лінії використовується електромережа з напругою 220/380 В, частотою 50 ГЦ з ізольованою нейтраллю, опір пристрою заземлення 4 Ом;

3) Причини електротравм персоналу під час роботи лінії ЛГП-150 можуть бути такі:

- потрапляння працівника під напругу під час проведення ремонтних робіт на вимкненому електроустаткуванні через помилкове його ввімкнення;



- доторкання до струмоведучих частин, що випадково опинилися під напругою, внаслідок ушкодження ізоляції або іншої несправності;

- випадкове доторкання до струмоведучих частин, що перебувають під напругою.

4) Заходи захисту персоналу від враження електричним струмом під час роботи лінії:

- ретельна перевірка ізоляції на мережі перед кожним запуском лінії в роботу,  $R_{i3}=0,5$  мОм;

- періодичний інструктаж персоналу з вимог техніки безпеки при роботі на лінії;

5) Заходи захисту персоналу при нормальному режимі роботи лінії:

- в електроустановках застосовані наступні види ізоляції (ГОСТ 12.1.009-76):

- а) робоча ізоляція, яка забезпечує нормальну роботу електроустановок та захист персоналу від враження електричним струмом;

- б) додаткова ізоляція, що забезпечує захист персоналу від враження електричним струмом в випадку пошкодження робочої ізоляції;

- струмоведучі частини огорожено сітками висотою 1,7 м

- розміром отворів 10x10 мм;

- електропроводи підвішені на висоті 3,5 м над рівнем землі;

- застосовано механічне блокування безпеки, що виконані в вигляді защіпок, які стопорять поворотну частину механізму обертання сушки в вимкненому стані;

- пофарбовано шини електроустановок:

- а) фаза А – в жовтий колір;

- б) фаза В – в зелений колір;

- в) фаза С – в червоний колір;

- г) нульова робоча – в блакитний колір;

- д) нульова захисна - поздовжні жовті та зелені смуги;

- розташування шин електроустановок:

- а) для фази А - найбільш віддалене;
- б) для фази В – середнє віддалення;
- в) для фази С – ближнє віддалення;
- розташовано таблички з написами “ Обережно! Електрична напруга” безпосередньо на струмоведучих частинах лінії;
- застосовано сигнальні лампи зеленого кольору “Вимкнено” та червоного кольору «Ввімкнено» на шафі управління лінією;
- монтаж електрообладнання та його заземлення виконуються згідно з вимогами:

- 1)ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.1.030-82/96;
- 2)”Правил устрою електроустановок” ПУЕ;
- 3)”Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів”, “Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів”.

Для забезпечення електробезпечності передбачені організаційні і технічні заходи:

- інструктаж і навчання безпечним методам праці;
- захисне занулення;
- захисне вимкнення;
- установлення попереджувальної сигналізації та блокувань.

### **3.3.2 Промислове освітлення**

Для безпечної роботи працівників необхідно, щоб робоче місце, де знаходиться лінія, мало належне освітлення.

Вихідні дані:

- 1) кількість світильників у приміщенні  $N = 2$ ;
- 2) кількість ламп у світильнику  $n = 1$ ;
- 3) коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta$ :

Визначаємо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{l_n \cdot b}{h \cdot (l_n + b)} = \frac{6 \cdot 1}{6(6+1)} = 0,14. \quad (4.1)$$

Для  $i = 0.14$  і 9 групи -  $\eta = 0.18$ .

Світловий потік для ламп типу ДРЛ 125:  $\Phi_{\text{л}} = 5600$  лм.

Характеристика зорових робіт наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 3.2 - Характеристика зорових робіт

Характеристика зорових робіт	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд та підрозряд зорових робіт	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Штучне освітлення, лк.
Малої точності	2 ÷ 5	IVa	малий	середній	150

Загальна кількість ламп необхідних для освітлення приміщення визначається за формулою:

$$N = \frac{S \cdot k_z \cdot z \cdot E}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{90 \cdot 1,6 \cdot 1,1 \cdot 300}{5600 \cdot 0,18} = 2,5 \text{ приймаємо } 3 \text{ шт.}$$

де  $S$  - площа приміщення,  $\text{м}^2$ ,  $E$  – фактична освітленість, лк

Загальна кількість ламп необхідних для освітлення приміщення складає 3 штуки, що відповідає ДБН И 2.5.2.8 - 2006

### 3.3.3 Розрахунок повітря робочої зони

Видалення шкідливих речовин, що виділяються при переробці матеріалу забезпечується замовником з допомогою установки зонта вхідною та вихідною камерами.

Приміщення, де працює лінія, обладнане витяжним зонтом. Повітря робочої зони відповідає ДСН 3.33.6.042-99.

Отже хімічний склад повітря робочого місця відповідає вимогам ГОСТ 12.1.005-98.

### **3.3.4 Захист персоналу від шуму**

Постійні робочі місця в виробничих приміщеннях на території підприємства, де встановлена та працює лінія сушіння енергетичної верби мають характеристики, безпечні для життєдіяльності людини під час виконання роботи на лінії.

1) Джерелом шуму, що виникає при роботі лінії, є електродвигун приводу сушарки, номінальною потужністю 100 кВт, що спричиняє фактичний шум в 90 дБА.

2) Для зниження загального рівня шуму в цеху стіни облицьовані шумопоглинальною плиткою на синтетичному сполучному матеріалі з класифікуючими домішками типу ПА/с, важко спалимі, вологостійкі ТУ-21-24-74.

При роботі лінії внаслідок руху частин лінії виникають вібрації, які спричиняються частинами конструкції, які працюють, а також електродвигуном приводу сушарки.

Використання примусового змащення рухомих части апарату зменшує кількість шумів на 6 дБА; встановлення шумопоглинаючого кожуха на електродвигун також зменшує кількість шумів на 10 дБА

Фактичні рівні вібрації на постійному робочому місці в виробничому приміщенні підприємства не перевищують 60 дБА, а отже вони відповідають ДСН 3.3.6.039-99.

### **3.3.5 Пожежна безпека**

Пожежна характеристика матеріалів:

1) під час роботи лінії не використовуються легкозаймисті матеріали з температурою згорання  $t = 400-420\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2) Лінія призначена для експлуатації в пожежонебезпечних зонах класу П-Па за ПУЕ. Категорія виробництва “В” клас П - Па по ОНТП24-86.

Випробування та експлуатація лінії виконується при дотриманні правил пожежної безпеки.

3) На установці використовується сировина у вигляді деревних трісок розміром 2 - 3 см.

Застосування пальних речовин у цеху обмежено.

4) Вогнестійкість будівлі за СНиП2.01.02-85 відповідає категорії II.

5) Серед причин, що можуть призвести до загорання, відзначимо найімовірніші:

- несправність електроживлення;
- струми короткого замикання і перевантаження кабелів живлення;
- використання відкритого вогню в неналежному місці;
- застосування легкозаймистих речовин, їхнє зберігання поблизу установки.

Запобігання запаленням забезпечується такими заходами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- догляд за територією відповідно до вимог пожежної безпеки;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- паління у спеціальних місцях;
- своєчасне проведення інструкцій серед обслуговуючого персоналу;
- організація наочної агітації з техніки безпеки;
- вчасна перевірка устаткування, особливо електричного;
- дотримання вимоги на засоби пожежогасіння;
- наявність пожежної сигналізації (датчик КІ-1, приймальна станція РУОП-1).

При займанні системи автоматики, необхідно першим чином вимкнути систему електроживлення потім, можна гасити пожежу, якщо вимкнути неможливо, то електрообладнання можна гасити лише вуглекислотними або порошковими вогнегасниками. Для гасіння пожеж при відключеному

електроустаткуванні передбачена мережа автоматичної пожежної сигналізації і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною. В приміщенні знаходяться два еваковиходи.

Сам цех – це приміщення, яке розташоване на першому поверсі. Ширина шляхів евакуації не менше одного метру, а дверей на шляху евакуації – не менше 0,8 м. Засоби пожежогасіння справні та розміщатися у легко доступних місцях. Аварійний запас протипожежних засобів та спецодягу зберігається в установленому місці.

Для гасіння невеликих вогнищ запалень при вимкненому електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5.

Для гасіння ввімкнених електромереж застосовують порошкові вогнегасники з речовинами ОП-9(3) та ОП-50(3). Принцип дії порошкових вогнегасників полягає у використанні енергії стиснутого газу (повітря), який закачаний в корпус, для витіснення порошку з вогнегасника.

Ці вогнегасники відрізняються простотою в експлуатації та технічному обслуговуванні; швидкому приводу в робочий стан.

Призначені для роботи при температурах від -20 °С до +50 °С

### **3.3.6 Балонне обладнання**

Балони призначені для зберігання, перевезення та використання стиснених (азот, повітря, кисень, сірководень), зріджених (аміак, сірчистий ангідрид, бутан) чи розчинених (ацетилен) газів під тиском вищим 0,07 МПа.

Безпечна експлуатація балонів забезпечується:

- необхідною механічною міцністю балонів і належним контролем за їх станом;
- запобіганням помилкового наповнення балонів іншими газами (наприклад, балонів для негорючих газів – горючими; балонів для горючих газів – киснем);

– дотриманням правил наповнення, транспортування, зберігання та використання балонів.

Необхідна механічна міцність балонів забезпечується їх якісним виготовленням та періодичною перевіркою. Балони для стиснених, зріджених та розчинених газів виготовляють зварними (робочий тиск у балоні – до 3 МПа) або безшовними. У процесі експлуатації балони проходять перевірку: огляд внутрішньої (при можливості) та зовнішньої поверхонь балонів; перевірку маси та міцності; гідравлічне випробовування. Огляд балонів здійснюється з метою виявлення на їх стінках корозії, тріщин, вм'ятин та інших пошкоджень для визначення придатності балонів до подальшої експлуатації. Якщо результати огляду незадовільні (виявлено тріщини, вм'ятини, раковини глибиною понад 10 % від номінальної товщини стінки), то балони бракуються.

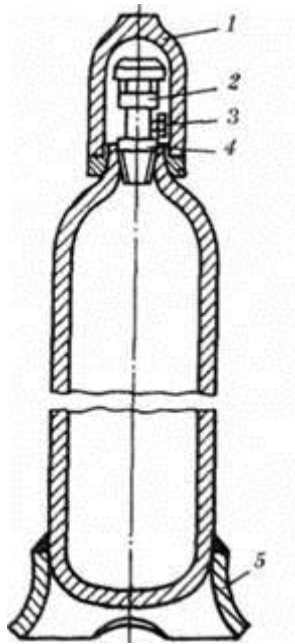
Величина пробного тиску і час витримки балонів під таким тиском встановлюється відповідними стандартами (для стандартних балонів) та технічними умовами (для нестандартних), при цьому пробний тиск повинен бути не менший, ніж півтора значення робочого тиску.

Перевірка балонів здійснюється підприємствами–наповнювачами, наповнювальними станціями та пунктами випробовування, які в установленому порядку одержали на це дозвіл у органах Держгірпромнагляду. Після проведення перевірки на верхній сферичній частині балона ставиться клеймо і зазначається дата наступної перевірки. Для запобігання помилковому наповненню балонів іншими газами передбачено розпізнавальне фарбування та маркування балонів.

Окрім того, бокові штуцери вентилів балонів (рисунок 3.2.4), що наповнюються горючими газами, мають ліву різьбу, а балонів, що наповнюються киснем та іншими негорючими газами – праву.

Експлуатація, транспортування та зберігання балонів на підприємстві повинні здійснюватись відповідно до вимог інструкції, затвердженої в установленому порядку. Працівники, які обслуговують балони, повинні

пройти навчання та інструктаж відповідно до чинної нормативної документації. Залишковий тиск газу в балоні повинен бути не менше 0,05 МПа.



1 – ковпак; 2 – вентиль; 3 – штуцер; 4 – заглушка; 5 – башмак.

Рисунок 3.4. – Схема балону

Наповнені балони зберігаються у вертикальному положенні у спеціально обладнаних гніздах, клітках або огорожуються бар'єром для запобігання їхньому падінню. Балони з газом розміщують на відстані не менше 1 м від радіаторів опалення та інших опалювальних приладів і не менше ніж 5 м від джерел відкритого вогню. Кисневі балони необхідно оберегти від забруднення будь-яким мастилом або жиром, оскільки вони можуть утворити вибухонебезпечну суміш з чистим киснем.

Враховуючи значну масу балонів, особливо наповнених газом, їх переміщення в межах підприємства необхідно здійснювати на спеціально пристосованих для цього візках; при цьому на балон необхідно встановити захисний ковпак 1 (рисунок 3.4).

Відповідність обладнання до вимог охорони праці

1. Робота установки допускається при наявності в цеху вентиляції і пристроїв для вловлювання пилу, що виділяються при роботі установки.



2. Перед початком роботи необхідно перевірити наявність усіх заземлень.
3. Екран керування установкою встановлений відповідно до вимог ергономіки.
4. Температура нагрівання зовнішніх поверхонь корпусу, доступних дотику з людиною не більше 45°C.
5. Підходи до електроприладів вільні.
6. Робота в спецодязі.
7. Рівень шуму, вимірюваний при роботі установки, не перевищує 75 Дб.

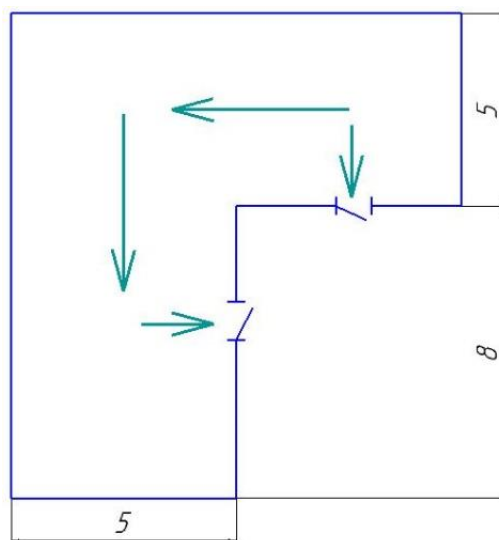


Рисунок 3.5 – План евакуації приміщення

### 3.4 Розрахунок похибок прямих та непрямих вимірювань

Далі представлено результати для дослідів виконаних на сушарці з частковою рециркуляцією повітря для визначення похибок прямих та не прямих вимірювань.

Таблиця 3.3 – Цілий брусок

Маса зразку, гр	Середнє	$\Delta$	$\Delta i$
2,38		-0,00714	$5,1 \cdot 10^{-5}$
2,40		0,01285	0,00016

Продовження таблиці 3.3

2,39		0,00285	$8,16 \cdot 10^{-6}$
2,4		0,01285	0,00016
2,37		-0,01717	0,00029
2,39		0,00285	$8,16 \cdot 10^{-6}$
2,38	2,387	-0,00714	$5,1 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 3.4 – Брусок після механічної деформації

Маса зразку, гр	Середнє	$\Delta$	$\Delta i$
2,15		0,01428	0,000204
2,12		-0,01571	0,000247
2,16		0,02428	0,000590
2,13		-0,00571	$3,27 \cdot 10^{-5}$
2,10		-0,03591	0,001276
2,14		0,00428	$1,84 \cdot 10^{-5}$
2,15	2,135	0,01428	0,000204

### 3.4.1 Розрахунок похибки прямого вимірювання

Середньоарифметичне значення серії з  $n$  вимірювань та записується до таблиць 1 та 2:

для 1-го досліджу:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{(2,38 + 2,40 + 2,39 + 2,40 + 2,37 + 2,39 + 2,38)}{7} = 2,387.$$

Для 2-го досліджу:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{(2,15 + 2,12 + 2,16 + 2,13 + 2,1 + 2,14 + 2,15)}{7} = 2,135.$$

Дисперсія середнього значення розраховують за формулою:

Для 1-го досліджу:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} =$$
$$= \sqrt{\frac{(2,38 - 2,387)^2 + (2,40 - 2,387)^2 + (2,39 - 2,387)^2 + (2,40 - 2,387)^2 + (2,37 - 2,387)^2 + (2,39 - 2,387)^2 + (2,38 - 2,387)^2}{7(7-1)}} =$$
$$= 0,00105$$

Для 2-го досліджу:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} =$$
$$= \sqrt{\frac{(2,15 - 2,135)^2 + (2,12 - 2,135)^2 + (2,16 - 2,135)^2 + (2,13 - 2,135)^2 + (2,10 - 2,135)^2 + (2,14 - 2,135)^2 + (2,15 - 2,135)^2}{7(7-1)}} =$$
$$= 0,00104$$

де  $n$  – кількість дослідів в кожному експерименті.

Похибку вимірювань:

Для 1-го досліджу:

$$\Delta x = t_{\alpha}(n) \cdot S_{\bar{x}} = 3,7 \cdot 0,00105 = 0,00147.$$

Для 2-го досліджу:

$$\Delta x = t_{\alpha}(n) \cdot S_{\bar{x}} = 3,7 \cdot 0,00104 = 0,00146.$$

Відносна похибка:

Для 1-го досліджу:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,00147}{2,387} \cdot 100\% = 0,06\%$$

Для 2-го досліджу:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,00146}{2,135} \cdot 100\% = 0,07\%$$

**Висновок:** Було отримано такі результати вимірювань для 1-го досліджу  $x=2,387 \pm 0,00147$ ,  $\varepsilon=0,06\%$ , для 2-го досліджу  $x=2,135 \pm 0,00146$ ,  $\varepsilon=0,07\%$ .

### 3.4.6 Обробка результатів непрямих вимірювань

Розрахунок похибки при визначенні температури сушіння згідно формули:

$$m = \rho \cdot V$$

де  $m$  – маса зразку, г;

$\rho = 460 \text{ кг/м}^3$  – густина верби;

$V = 1,57 \text{ м}^3$  – об'єм дослідного зразка.

1.Обчислюємо середнє значення маси, часу та температури значення яких беремо з таблиці 1 для першого дослідіу:

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 m_i = \frac{(2,38 + 2,40 + 2,39 + 2,40 + 2,37 + 2,39 + 2,38)}{7} = 2,387$$

Обчислюємо середнє значення маси, часу та температури значення яких беремо з таблиці 2 для другого дослідіу:

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^7 m_i = \frac{(2,15 + 2,12 + 2,16 + 2,13 + 2,10 + 2,14 + 2,15)}{7} = 2,135$$

де  $n = 7$  – кількість дослідів.

2.Знаходимо абсолютну похибку непрямих вимірювань:

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\partial m}{\partial \rho} \Delta \rho\right)^2 + \left(\frac{\partial m}{\partial V} \Delta V\right)^2},$$

Похибка непрямого вимірювання

Для 1-го дослідіу:

$$\begin{aligned} \Delta v &= \sqrt{\left(\frac{\bar{m}}{\rho^2} \cdot \Delta \rho\right)^2 + \left(\frac{1}{V^2} \cdot \Delta V\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{2,387}{460^2} \cdot 460\right)^2 + \left(\frac{1}{1,57^2} \cdot 1,57\right)^2} = 0,63 \end{aligned}$$

Для 2-го дослідіу:

$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\bar{m}}{\rho^2} \cdot \Delta \rho\right)^2 + \left(\frac{1}{V^2} \cdot \Delta V\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2,135}{460^2} \cdot 460\right)^2 + \left(\frac{1}{1,57^2} \cdot 1,57\right)^2} = 0,64$$

Відносна похибка:

Для 1-го досліджу:

$$\varepsilon = \frac{\Delta v}{v} \cdot 100\% = \frac{0,63}{2,387} = 27,22\% .$$

Для 2-го досліджу:

$$\varepsilon = \frac{\Delta v}{v} \cdot 100\% = \frac{0,64}{2,135} = 29,82\% .$$

Було отримано такі результати вимірювань для першого досліджу  $\varepsilon = 27,22\%$ , та для другого досліджу  $\varepsilon = 29,82\%$ .

#### Висновки

Було виконано опис експериментальних установок, дано рекомендації щодо охорони праці при роботі на цих установках. Проведено послідовність виконання експериментів. Також було обчислено похибки прямих та непрямих вимірювань на основі експериментальних даних.

## 4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ

### 4.1 Розрахунок барабанної сушарки

#### 4.1.1 Тепловий баланс барабанної сушарки

Мета: визначити основні геометричні розміри сушарки.

Вихідні дані:

Матеріал	бруски енергетичної верби;
об'ємна густина матеріалу $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	490;
масова доля вологи у матеріалі до сушки $w_1$ , %	58;
масова доля вологи у матеріалі після сушки $w_2$ , %	8;
масова продуктивність сушарки по висушеному матеріалу $G_2$ , кг/с	1,65;
взаємний напрям руху газу і матеріалу у сушарці	прямоточний;
температура матеріалу до сушки $v_1$ , К	293;
температура матеріалу після сушки $v_2$ , К	298;
температура газу на вході в сушарку $t_1$ , К	408;
температура газу на виході з сушарки $t_3$ , К	323;
кут природного відкосу матеріалу $\varphi$ , °	45;
температура повітря навколишнього середовища $t_0$ , К	20;
масове відношення вологи в повітрі навколишнього середовища $d_0$ , кг/кг	0,008;
ентальпія повітря в навколишньому середовищі на масу його сухої частини $i_0$ , Дж/кг	35600;
тип палива	нагріте повітря;
температура палива $t_T$ , К	313.

Схема до розрахунку наведена на рисунку 4.1.

Розрахунок ведеться за методикою наведеною в [30].

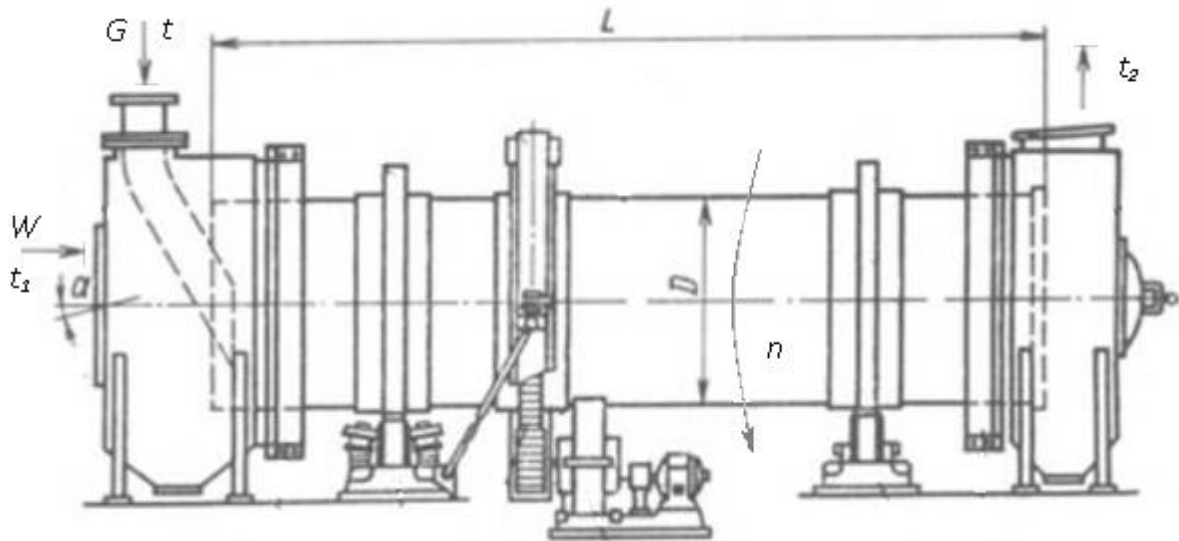


Рисунок 4.1 – Схема барабанної сушарки

Масова доля вологи у пилу, яка виноситься з сушарки

$$w_n = 0,5 \cdot w_2 = 0,5 \cdot 0,08 = 0,04.$$

Масова доля матеріалу, який уноситься із сушарки

$$x_{ун} = 0,03.$$

Масова продуктивність сушарки по волозі

$$W = G_2 \cdot \frac{w_1 - w_2 + x_{ун} \cdot (w_1 + w_2)}{1 - w_1} = 1,65 \cdot \frac{0,58 - 0,08 + 0,03 \cdot (0,58 + 0,08)}{1 - 0,58} = 0,156 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Відносний масовий вихід водяної пари при згоранні палива

$$x_n = \left( \mu_n + \frac{z_0}{z_n} \cdot \mu_0 \right) \cdot x_n + x_w = \left( 1 + \frac{1}{2} \cdot 16 \right) \cdot 0,024 + 0,044 = 0,656.$$

Маса сухого повітря, яке необхідне для повного згорання палива, віднесена до 1 кг маси палива

$$L_0 = \sum \frac{\mu_0 \cdot z_{0i} \cdot x_i}{\mu_i \cdot z_i \cdot (x_o)_i} - \frac{x_o}{(x_o)_b} = \frac{16 \cdot 1 \cdot 0,024}{1 \cdot 2 \cdot 0,235} - \frac{0,0975}{0,235} = 3,223 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

Вища теплота згорання палива

$$Q_B = 39 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Нижча теплота згорання палива

$$Q_H = 33,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Теплоємність палива

$$C_T = 2220 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Ентальпія водяної пари, яка знаходиться в газі

$$i_n = 2.49 \cdot 10^6 + 1968 \cdot t = 2.49 \cdot 10^6 + 1968 \cdot 135 = 2,75 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Коефіцієнт корисної дії топки

При камерному спалюванні газоподібного палива  $\eta_T = 0,97$ .

Коефіцієнт надлишку повітря в газі на вході в сушарку

$$\begin{aligned} \alpha_n &= \frac{\eta_T \cdot Q_B + C_{\Pi} \cdot t_{\Pi}}{L_0 \cdot (C_{\text{cr}} \cdot t_1 + d_0 \cdot i_n - i_0)} - \frac{(1 - x_n - x_a) \cdot C_{\text{cr}} \cdot t_1 - x_n \cdot i_n - d_n \cdot (i_n' - i_n)}{L_0 \cdot (C_{\text{cr}} \cdot t_1 + d_0 \cdot i_n - i_0)} = \\ &= \frac{0,97 \cdot 39 \cdot 10^6 + 2440 \cdot 15}{3,223 \cdot (1050 \cdot 350 + 0,008 \cdot 4,07 \cdot 10^6 - 35600)} - \\ &- \frac{(1 - 0,656 - 0,1846) \cdot 1050 \cdot 350 - 0,656 \cdot 3,18 \cdot 10^6 - 0}{3,223 \cdot (1050 \cdot 350 + 0,008 \cdot 3,18 \cdot 10^6 - 35600)} = 6,83, \end{aligned}$$

де  $C_{\text{cr}}$  – теплоємність сухого топкового газу, Дж/(кг·К). Допускається приймати  $C_{\text{cr}}$  як теплоємність повітря (по довідковим даним).

Відносний масовий вихід сухого газу при згоранні палива

$$l_{\text{cr}} = 1 + \alpha_n L_0 - x_n - x_a = 1 + 6,83 \cdot 3,223 - 0,656 - 0,1846 = 22,17 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

Масова доля водяної пари в сухих газах

$$d_1 = \frac{\alpha_n L_0 d_0 + x_n}{l_{\text{cr}}} = \frac{6,83 \cdot 3,223 \cdot 0,008 + 0,656}{22,17} = 0,038 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

Кількість теплоти, необхідної для випаровування 1кг вологи з матеріалу

$$q_0 = i_n - C_w \cdot \nu = 4,07 \cdot 10^6 - 4187 \cdot 15 = 4,01 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

де  $\nu$  – початкова температура матеріалу, К

Теплоємність абсолютно сухого палива,

$$C_0 = 1000 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}.$$



Теплоємність висушеного матеріалу

$$C''_M = (1 - \omega_2) \cdot C_0 + \omega_2 \cdot C_W = (1 - 0,08) \cdot 1000 + 0,08 \cdot 4187 = 1255 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Кількість теплоти, необхідної для нагрівання матеріалу, віднесена до 1 кг випаруваної вологи

$$q_m = \frac{G_2 \cdot C'_M \cdot [(v_2 - v_1) + x_{\text{yh}} \cdot (v_n - v_1)]}{W} = \frac{0,55 \cdot 1255 \cdot [(28 - 15) + 0,03 \cdot (65 - 15)]}{0,156} = 62830 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Кількість теплоти, що втрачається в навколишнє середовище, віднесена до 1 кг випареної вологи

$$q_0 = (85 \dots 170) \cdot 10^3, \text{ приймаю } q_0 = 125 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}.$$

Теплоємність вологого газу при початкових параметрах газу

$$C'_{\text{в.г}} = C'_{\text{с.г}} + d_1 \cdot C'_n = 1075 + 0,038 \cdot 2080 = 1154 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

де  $C'_{\text{с.г}}$  та  $C'_n$  – теплоємність відповідно сухого газу та водяної пари при температурі на вході в сушарку, Дж/(кг·К). Рекомендується приймати значення  $C'_{\text{с.г}}$ , як для сухого повітря.

Те ж, на виході з сушарки

$$C''_{\text{в.г}} = C''_{\text{с.г}} + d_1 \cdot C''_n = 1050 + 0,038 \cdot 1880 = 1121 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}},$$

де  $C''_{\text{с.г}}$  та  $C''_n$  – теплоємність відповідно сухого газу та водяної пари при температурі на виході з сушарки, Дж/(кг·К). Рекомендується приймати значення  $C''_{\text{с.г}}$ , як для сухого повітря.

Витрата сухого газу на випаровування 1 кг маси вологи

$$g_{\text{с.г}} = \frac{q_0 + q_m + q_c}{C'_{\text{в.г}} \cdot t_1 - C''_{\text{в.г}} \cdot t_2} = \frac{4,01 \cdot 10^6 + 62830 + 125000}{1154 \cdot 408 - 1121 \cdot 323} = 12,68 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

Приріст відносної масової витрати сухого газу за рахунок неорганізованого всмоктування повітря в сушарку

$$L_{\text{пр}} = 0,2 \cdot g_{\text{с.г}} = 0,2 \cdot 12,68 = 2,536 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

Кількість теплоти, що втрачається з відпрацьованим газом, віднесена до 1 кг маси випареної вологи

$$q_{\Gamma} = q_{c,\Gamma} \cdot [C_{в,\Gamma}'' \cdot t_2 - (C_{в,\Pi})_0 \cdot t_0] + l_{\text{пр}} \cdot [C_{в,\Gamma}'' \cdot t_2 - (C_{в,\Pi})_0 \cdot t_0] = \\ = 12,68 \cdot (1121 \cdot 65 - 1020 \cdot 15) + 2,536 \cdot (1121 \cdot 65 - 1005 \cdot 15) = 876500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

де  $(C_{в,\Pi})_0$  та  $(C_{с,\Pi})_0$  – питома теплоємність відповідно вологого та сухого повітря при температурі  $t_0$  (по довідковим даним), Дж/(кг·К).

Витрата теплоти на випаровування 1 кг маси вологи з урахуванням всіх теплових втрат

$$q = \frac{q_0 + q_{\text{м}} + q_{\Gamma} + q_{\text{с}}}{\eta_{\text{T}}} = \frac{4,01 \cdot 10^6 + 62830 + 876500 + 125000}{0,97} = 5,23 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Масова витрата палива в топці сушарки

$$B_{\text{T}} = \frac{q \cdot W}{Q_{\text{H}}} = \frac{5,23 \cdot 10^6 \cdot 0,156}{8,73 \cdot 10^6} = 0,093 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Те ж (перевірочний розрахунок), кг/с

$$B'_{\text{T}} = \frac{q_{c,\Gamma} W}{l_{c,\Gamma}} = \frac{12,68 \cdot 0,156}{22,17} = 0,087 \approx B_{\text{T}} = 0,093.$$

Масове відношення вологи в газі на виході з сушарки

$$d_2 = \frac{1}{g_{c,\Gamma} + l_{\text{пр}}} + d_1 = \frac{1}{12,68 + 2,536} + 0,038 = 0,1037 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

Середнє масове відношення вологи в газі в сушарці

$$d_{\text{сер}} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0,038 + 0,1037}{2} = 0,0709 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

Середня різниця температур між газом і матеріалом в сушарці, при прямоточному русі газу й матеріалу :

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{(t_1 - v_1) - (t_2 - v_2)}{2,31 \lg \frac{t_1 - v_1}{t_2 - v_2}} = \frac{(135 - 20) - (50 - 28)}{2,31 \lg \frac{135 - 20}{50 - 28}} = 56,3 \text{ } ^\circ\text{C} = 329,3 \text{ К}.$$

Середня температура газу в сушарці

$$t_{\text{сер}} = \frac{v_1 + v_2}{2} + \Delta t_{\text{сер}} = \frac{20 + 28}{2} + 56,3 = 80,3 \text{ } ^\circ\text{C} = 353,3 \text{ К}.$$

Коефіцієнт, який враховує зміну газової постійної

$$A = 1.$$

Об'єм суміші газів й водяної пари на масу сухих газів

$$\begin{aligned} \nu_{\text{оср}} &= 4,64 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + t_{\text{сер}}) \cdot (A \cdot 622 + d_{\text{сер}} \cdot 10^3) = \\ &= 4,64 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 80,3) \cdot (1 \cdot 622 + 0,0709 \cdot 10^3) = 1,38 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}. \end{aligned}$$

Середня густина вологого газу

$$\rho_{\text{в.сер}} = \frac{1 + d_{\text{сер}}}{\nu_{\text{оср}}} = \frac{1 + 0,0709}{1,38} = 0,78 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Об'єм газів, що проходять через сушарку

$$V_{\text{г.сер}} = (g_{\text{с.г}} + l_{\text{пр}}) \cdot \nu_{\text{оср}} \cdot W = (12,68 + 2,536) \cdot 1,38 \cdot 0,156 = 3,276 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Максимально допустима швидкість газу на виході з сушарки

$$g_{\text{г}}'' = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Об'ємна витрата сухого газу на виході з сушарки

$$V_{\text{г}}'' = (g_{\text{с.г}} + l_{\text{пр}}) \cdot \nu_0'' \cdot W = (12,68 + 2,536) \cdot 1,086 \cdot 0,156 = 2,578 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

де  $\nu_0''$  – див. п. 2.8 стандарту. Тут  $\nu_0''$  розраховується при параметрах газу на виході з сушарки

$$\nu_0'' = 4,64 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 65) \cdot (1 \cdot 622 + 0,0709 \cdot 10^3) = 1,086 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

Тип насадки на виході матеріалу з сушарки – секторна

Кутова швидкість барабана

$$\omega = 0,628 \text{ рад/с}.$$

Коефіцієнт заповнення барабана матеріалом

$$\varphi = 0,25.$$

Необхідна площа поперечного перерізу барабана

$$F_{\text{б}}' = \frac{V_{\text{г}}''}{(1 - \varphi) \cdot g_{\text{г}}''} = \frac{2,578}{(1 - 0,25) \cdot 5} = 0,6875 \text{ м}^2.$$

Необхідний внутрішній діаметр барабана

$$D'_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4F'_6}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,6875}{3,14}} = 0,94 \text{ м.}$$

Прийнятий внутрішній діаметр барабана

$$D_{\text{вн}} \approx D'_{\text{вн}} = 0,99 \text{ м.}$$

Зовнішній діаметр барабана

$$D_3 = 1 \text{ м.}$$

Загальне число лопатей основної насадки

$$Z=16.$$

Середня висота падіння частинок матеріалу

$$H_{\text{сер}}=0,159 \text{ м.}$$

Середня швидкість падіння частинок з лопатей

$$v_{\text{п.сер}} = \sqrt{\frac{g \cdot h_{\text{сер}}}{2}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,159}{2}} = 0,8831 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння в пункті розміщення сушарки,  $\text{м/с}^2$ .

Середня швидкість газу уздовж осі барабана

$$v_{\text{г.сер}} = \frac{4 \cdot V_{\text{г.сер}}}{(1 - \varphi) \cdot \pi \cdot D_{\text{вн}}^2} = \frac{4 \cdot 3,278}{(1 - 0,25) \cdot 3,14 \cdot 0,99^2} = 5,94 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Середня швидкість газу відносно падаючих частинок матеріалу

$$v_{\text{г}} = \sqrt{v_{\text{г.сер}}^2 + v_{\text{п.сер}}^2} = \sqrt{5,94^2 + 0,8831^2} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Середній час падіння частинок матеріалу

$$\tau_n = \sqrt{\frac{2 \cdot h_{\text{сер}}}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,159}{9,81}} = 0,18 \text{ с.}$$

Величина, зворотня середньому діаметру частинок (усередненому по площі поверхні)

$$\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\delta_i} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ м}^{-1}.$$

Середній діаметр частинок (усереднений по площі їх поверхні)

$$\delta_{\text{п.сер}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\delta_i}} = \frac{1}{500} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Площа поперечного перерізу матеріалу на одній лопаті при її виході з “завалу”

$$F_{\text{мл}} = 0,0093 \text{ м}^2.$$

Кут повороту барабана з моменту виходу лопаті з “завалу” до моменту повного зсипання матеріалу з лопаті

$$\beta = 2,44 \text{ рад.}$$

Площа поверхні частинок матеріалу, віднесена до 1м довжини барабана сушарки

$$F_l = \frac{6 \cdot \rho_{\text{н}} \cdot \tau_{\text{п}} \cdot \omega \cdot F_{\text{мл}}}{\beta \cdot \delta_{\text{п.сер}} \cdot \rho_{\text{м}}} = \frac{6 \cdot 650 \cdot 0,18 \cdot 0,628 \cdot 0,0093}{2,44 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 490} = 0,71 \text{ м}^2.$$

Сумарна довжина відрізків в поперечному перерізі барабана, що відповідають поверхні контакту газу з матеріалом, який лежить на лопатях та в “завалі”

$$S_{\text{м}} = 1,19 \text{ м.}$$

Середня висота скочування частинок з лопатей

$$h = \frac{S_{\text{м}}}{z} \cdot \sin \psi = \frac{1,19}{2} \cdot \sin 45 = 0,42 \text{ м.}$$

Швидкість скочування частинок в кінці лопаті

$$v_{\text{ск}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \left(1 - \frac{\xi}{\tan \alpha}\right)} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,42 \cdot \left(1 - \frac{0,25}{1}\right)} = 2,486 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

де  $\xi$  – коефіцієнт тертя ковзання матеріалу (приймається по довідниковим даним)

Початкова ширина струменю матеріалу падаючого з лопаті

$$B_{\text{стр}} = \frac{\omega \cdot F_{\text{мл}}}{\beta \cdot v_{\text{ск}}} = \frac{0,628 \cdot 0,0093}{0,28 \cdot 2,486} = 8,39 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Середня площа перерізу струменю матеріалу, падаючого з лопаті, в поперечному перерізі барабана

$$F_{\text{стр}} = h_{\text{сер}} \cdot B_{\text{стр}} + h_{\text{сер}}^2 \cdot \text{tg}[3,75 + 0,316 \cdot (\rho_{\text{в.сер}} \cdot v_{\text{сер.Г}})^2] = \\ = 0,159 \cdot 8,39 \cdot 10^{-3} + 0,159^2 \cdot \text{tg}[3,75 + 0,316 \cdot (0,56 \cdot 5,94)^2] = 0,041 \text{ м}^2.$$

Об'ємна (по внутрішньому об'єму барабана) площа поверхні частинок матеріалу, падаючих з лопатей

$$F'_v = \frac{2 \cdot \beta \cdot z \cdot F_l}{\pi^2 \cdot D_{\text{вн}}^2} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 16 \cdot 0,71}{3,14^2 \cdot 0,99^2} = 5,9 \text{ м}^{-1}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від газу до поверхні падаючих частинок матеріалу

$$\alpha' = 0,62 \cdot \frac{\lambda}{\nu^{0,5}} \left( \frac{v_{\Gamma}}{\delta_{\text{п.сер}}} \right)^{0,5} = 0,62 \cdot \frac{0,0462}{(48,7 \cdot 10^{-6})^{0,5}} \cdot \left( \frac{6}{2 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,5} = 225 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де  $\lambda$  та  $\nu$  – відповідно теплопровідність, Вт/(м·К) та кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с газу при середніх значеннях параметрів. Допускається приймати значення  $\lambda$  та  $\nu$  як для повітря (по довідниковим даним).

Об'ємний (по внутрішньому об'єму барабана) коефіцієнт тепловіддачі від газу до поверхні падаючих частинок матеріалу

$$\alpha'_v = 5,1 \cdot \left( \frac{F_l}{F_{\text{стр}}} \right)^{-0,8} \cdot \alpha' \cdot F'_v = 5,1 \cdot \left( \frac{0,71}{0,041} \right)^{-0,8} \cdot 225 \cdot 5,9 = 691 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

Середня довжина скочування частинок матеріалу з лопатей

$$l_{\text{ск}} = \frac{2 \cdot S_{\text{М}}}{z} = \frac{2 \cdot 1,19}{16} = 0,1488 \text{ м}.$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{l_{\text{ск}} \cdot v_{\Gamma}}{\nu} = \frac{0,1488 \cdot 6}{48,7 \cdot 10^{-6}} = 60123.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від газу до поверхні матеріалу на лопатях і в “завалі”

$$\alpha'' = \frac{0.347 \cdot (Re)^{0.66} \cdot \lambda}{l_{\text{ск}}} = \frac{0.347 \cdot 60123^{0.66} \cdot 0.0462}{0.1488} = 153,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Об'ємна (по внутрішньому об'єму барабана) площа поверхні матеріалу на лопатях і в “завалі”, яка омивається газом

$$F_v'' = \frac{4 \cdot S_M}{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2} = \frac{4 \cdot 1,19}{3,14 \cdot 0,968^2} = 1,62 \text{ м}^{-1}.$$

Об'ємний (по внутрішньому об'єму барабана) коефіцієнт тепловіддачі від газу до матеріалу на лопатях і в “завалі”

$$\alpha_v'' = \alpha'' \cdot F_v'' = 153,6 \cdot 1,62 = 248,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

Сумарна довжина відрізків в поперечному перерізі барабана, які відповідають “оголеним” поверхні (не зайнятої матеріалом) внутрішніх пристроїв

$$S_{\text{ог}} = 7,9 \text{ м}.$$

Об'ємна (по внутрішньому об'єму барабана) площа “оголеної” поверхні

$$F_v''' = \frac{4 \cdot S_{\text{ог}}}{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2} = \frac{4 \cdot 7,9}{3,14 \cdot 0,968^2} = 10,74 \text{ м}^{-1}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від газу до “оголеної” поверхні внутрішніх пристроїв

$$\alpha''' = 5,1 + 3,5 \cdot \rho_{\text{в.сер}} \cdot v_{\text{г.сер}} = 5,1 + 3,5 \cdot 0,56 \cdot 5,94 = 16,74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Об'ємний (по внутрішньому об'єму барабана) коефіцієнт тепловіддачі від газу до “оголених” поверхонь внутрішніх пристроїв

$$\alpha_v''' = \frac{\alpha''' \cdot F_v''' \cdot (t_{\text{сер}} - \frac{v_1 + v_2}{2})}{\Delta t_{\text{сер}}} = \frac{16,74 \cdot 10,74 \cdot (80,3 - \frac{20 + 28}{2})}{56,3} = 180 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

Повний об'ємний (по внутрішньому об'єму барабана) коефіцієнт тепловіддачі від газу до матеріалу

$$\alpha_v = \alpha_v' + \alpha_v'' + \alpha_v''' = 691 + 248,8 + 180 = 1120 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}.$$

Теплова потужність сушарки, яка витрачається на нагрівання матеріалу та випаровування води

$$Q = W \cdot (q_0 + q_H) = 0,156 \cdot (4,01 \cdot 10^6 + 62830) = 2,28 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

Необхідний внутрішній об'єм барабана

$$V'_6 = 1,2 \cdot \frac{Q}{\alpha_v \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = 1,2 \cdot \frac{2,28 \cdot 10^6}{1120 \cdot 56,3} = 2,87 \text{ м}^3.$$

Необхідна довжина корпусу

$$L'_6 = \frac{4 \cdot V'_6}{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2} = \frac{4 \cdot 2,87}{3,14 \cdot 0,968^2} = 3,9 \text{ м}.$$

Прийнята довжина корпусу

$$L = 4 \text{ м}.$$

Прийнятий корпус сушарки УП-1-4 ОСТ 26-01-437-85.

Площа зовнішньої поверхні сушарки

$$F_{6,3} = \pi \cdot (D_3 + 2 \cdot \delta_{13}) \cdot (L - L_{\text{зав}} - L_{\text{вив}}) = 3,14 \cdot (1 + 2 \cdot 0,05) \cdot (4 - 0,5 - 0,3) = 30,65 \text{ м}^2,$$

де  $L_{\text{зав}}$  та  $L_{\text{вив}}$  – довжина відповідно завантажувальної та вивантажувальної ділянок, м.

Середня різниця температур між речовиною (газ та матеріал) всередині барабана та навколишнім середовищем

$$\Delta t_{\text{нав}} = \frac{\alpha''' \frac{t_1 + t_2}{2} + \alpha'' \frac{t_1 + t_2}{2}}{\alpha''' + \alpha''} - t_0 = \frac{16,74 \cdot \frac{135 + 65}{2} + 153,6 \cdot \frac{20 + 28}{2}}{16,74 + 153,6} = 31,4 \text{ } ^\circ\text{C} = 304,4 \text{ К}.$$

Коефіцієнт теплопередачі через корпус сушарки

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \Sigma \frac{\delta_{13}}{\lambda_{13}}} = \frac{1}{\frac{1}{14,38} + \frac{1}{13} + \frac{0,05}{0,098}} = 1,52 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

де  $\alpha_1$  – тепловіддача від газу до внутрішньої поверхні барабана, Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$\alpha_2$  – тепловіддача від зовнішньої поверхні барабана з ізоляцією до навколишнього середовища, Вт/(м<sup>2</sup>·К) ;



$\delta_{і3}$  – товщина ізоляції барабана, м. Для повітряної ізоляції  $\delta_{і3}=0.05$  м

$\lambda_{і3}$  – теплопровідність ізоляції барабана, Вт/(м·К). Для повітряної ізоляції  $\lambda_{і3}=0.098$  Вт/(м·К)

Значення  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$  розраховуються по формулі :

$$\alpha=4.4+3.0\rho_r \cdot v_r.$$

де  $\rho_r$  – густина газу біля внутрішньої (при розрахунку  $\alpha_1$ ) або зовнішньої (при розрахунку  $\alpha_2$ ) поверхні стінок сушарки, кг/м<sup>3</sup>

$v_r$  – швидкість газу біля внутрішньої (при розрахунку  $\alpha_1$ ) або зовнішньої (при розрахунку  $\alpha_2$ ) поверхні стінок сушарки, м/с

Частка від ділення кількості теплоти, втрачаємої в навколишнє середовище, на масу випаруваної вологи (перевірочний розрахунок)

$$q'_c = \frac{k \cdot F_{6.3} \cdot \Delta t_{\text{нав}}}{W} = \frac{1,52 \cdot 30,65 \cdot 31,4}{0,156} = 9377 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \leq q_c = 125000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Кут нахилу барабана

$X=3$  град.

Час проходження матеріалу через лопатеву насадку, при прямоточному русі матеріалу й газу :

$$\begin{aligned} \tau_2 &= \frac{12,35 \cdot (l_1 + l_2)}{\omega^{0.65} \cdot D_{\text{вн}} \cdot \left( 3,8 \cdot \text{tg} x + \frac{1,9 \cdot \rho_{\text{в.ср}}}{\delta_{\text{мсер}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot g} v_{\text{г.ср}}^{1.7} \right)} = \\ &= \frac{12,35 \cdot (0,5 + 1,1)}{0,628^{0.65} \cdot 0,968 \cdot \left( 3,8 \cdot \text{tg} 3 + \frac{1,9 \cdot 0,56}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 9,81} \cdot 5,94^{1.7} \right)} = 24 \text{ с.} \end{aligned}$$

де  $l_1$  та  $l_2$  – довжина відповідно прийомно-гвинтової та лопатевої насадки, м. Значення  $l_1$  та  $l_2$  приймаються по ОСТ 26-01-437 з врахуванням п.2.10 дійсного стандарту ;

Те ж, через секторну насадку, при прямоточному взаємному русі матеріалу й газу :

$$\tau_2 = \frac{12,35 \cdot l_3}{\omega^{0.7} \cdot D_{\text{вн}} \cdot \left( 1,95 \cdot \text{tg} \alpha + \frac{0,33 \cdot \rho_{\text{в.ср}}}{\delta_{\text{мсер}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot g} \nu_{\text{г.ср}}^{1.6} \right)} =$$

$$= \frac{12,35 \cdot 2,4}{0,628^{0.7} \cdot 0,968 \cdot \left( 1,95 \cdot \text{tg} 3 + \frac{0,33 \cdot 0,56}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 490 \cdot 9,81} \cdot 5,94^{1.6} \right)} = 178 \text{ с.}$$

де  $l_3$  – довжина секторної насадки, м. Значення  $l_3$  приймається по ОСТ 26-01-437 з врахуванням п.2.10 дійсного стандарту ;

Внутрішній об'єм барабана

$$V_{\text{б.вн}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2 \cdot L}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,968^2 \cdot 4}{4} = 2,942 \text{ м}^3.$$

Маса матеріалу, що знаходиться в сушарці

$$m = (\tau_1 + \tau_2) \cdot \left( \frac{W}{2} + G_2 \right) = (24 + 178) \cdot \left( \frac{0,156}{2} + 1,65 \right) = 349 \text{ кг.}$$

Середній коефіцієнт заповнення барабана

$$\varphi' = \frac{m}{\rho_{\text{н}} \cdot V_{\text{б.вн}}} = \frac{349}{650 \cdot 2,942} = 0,1825 = (0,8 \dots 1,1) \varphi.$$

При  $\varphi' < 0,8\varphi$  або  $\varphi' > 1,1\varphi$  розрахунок повторюють починаючи з п.4.1.85, при змінному значенні  $x$ .

Висновки

На основі експериментальних даних було виконано тепловий розрахунок барабанної сушарки із визначенням її основних габаритних розмірів.

## 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 5.1. Опис ідеї проекту

На сьогоднішній день серед усіх енергетичних рослин у світі саме верба сьогодні використовується у світі в якості основної енергетичної культури для виробництва твердого палива. Найбільшого досвіду у вирощуванні верби виду *Salix Viminalis* здобули такі країни як Швеція, Англія, Ірландія, Польща, Данія. Найбільшими плантаціями верби, на теперішній час володіє Швеція, становить приблизно 18 000 – 20 000 га, та Польща - більше 6 000 га.

На даний момент в Україні є не задіяні під сільськогосподарську діяльність, так як вони є малопродуктивними для вирощування традиційних сільськогосподарських культур. В свою чергу, енергетична верба невибаглива щодо ґрунту, що дає можливість раціонально використовувати землю за її призначенням. Використання енергетичної верби супроводжується рядом переваг, серед яких є:

- відновлюване тверде біопаливо;
- екологічно чисте тверде біопаливо, яке не порушує баланс вуглецю в атмосфері;
- сама верба є природним фільтром для видалення відходів агро-промислового виробництва
- з одного гектару плантації можна отримувати 7-15 сухих тонн енергетичної верби на рік;
- в порівнянні з використанням газу є більш економічно вигідним твердим паливом в опалюванні будівель.
- збагачує ґрунти мінералами та мікроелементами;

кількість циклів збору урожаю з однієї посадки – 7-8 разів, після чого можна проводити рекультивацію землі під посадку інших культур або закладати нову плантацію верби.

У таблиці 5.1 показано сам зміст ідеї та можливі потенційні ринки, в межах яких буде необхідно проводити пошук потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап–проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Новий метод підготовки сировини перед подачею до сушильного апарату	Механічна деформація брусків енергетичної верби перед подачею до сушарки	Зменшення часу на нагрів бруска
		Зменшення часу на сам процес сушки
		Підвищення енергоефективності проведення процесу

Пропонується новий метод підготовки сировини, яка буде сушитися шляхом механічної деформації. Це дозволить зменшити час, що витрачається на весь процес сушіння, що в свою чергу призводить до зменшення витрат на електроенергію на даній ділянці.

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначено можливе коло конкурентів або товарів–замінників, які вже існують на ринку, та проведено збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні); в) кращі значення (S, сильні), наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
Вартість посадки поля пагонами енергетичної верби, грн	80000	84000	75000	100000	–	+	–
Витрата електроенергії, кВт/год	18,5	20	20	22	–	–	+
Продуктивність, кг/год	110	100	130	100	–	+	–
Вихідна вологість, %	17	20	23	30	–	–	+

Визначений перелік слабких, нейтральних та сильних характеристик та властивостей ідеї майбутнього товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності. Основною перевагою даного проекту є зміна геометричної форми брусків енергетичної верби та зменшення часу, що витрачається на сушіння, що призводить до зменшення енерговитрат.

## 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Деревна пелета - один з небагатьох альтернативних видів палива, використання яких є доцільним, як з економічної точки зору, так і з огляду на екологічну безпеку. Основною перевагою є те, що сировиною для виготовлення пелет є деревина - поновлювальний ресурс, що має здатність накопичувати велику кількість сонячної енергії протягом тривалого часу.

Самі пелети бувають наступних видів:

1. Білі пелети- сорт «преміум» світлого кольору виконуються із деревини без кори. Теплотворна здатність таких пелет складає 17,2 МДж/кг.

2. Індустріальні пелети – сорт більш низької якості. До складу продукту входить кора дерева та негорючі рештки. Теплопровідність таких пелет майже така сама, як у преміум сорту.

3. Агropелети – паливо із відходів гречки, насіння соняшника. Мають чорний колір. Теплотворча здатність – 15 МДж/кг. Основна перевага – низька ціна.

Таблиця 5.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Інтенсифікація процесу сушіння енергетичної верби	Механічна деформація брусків енергетичної верби	На даний момент інформації стосовно даного способу немає, що робить її унікальною на даний момент	Література для вивчення процесу сушіння деревини представлена декількома авторами
2	Підвищення енергоефективності	За рахунок описаного вище способу витрачається менше часу на сушіння	Наявні, відомі конструкції удосконалюються	На ринку представлено декількома основними виробниками сушильного обладнання
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Новий спосіб попередньої обробки сировини, що подається на сушіння				

### 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначено ринкові можливості, які можна використати під час впровадження даного проекту та можливі загрози, які можуть перешкодити

реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів.

Спочатку був проведений аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.3).

Ринок промислового виробництва біопалива в Україні практично не розвинений і знаходиться тільки на етапі зародження. Тому питання щодо активного вирощування енергетичної в нашій країні поки нестоїть.

На сьогоднішній момент під енергетичну вербу зайнято близько 400 га землі. Варто зазначити, що до 2020 року національний план дій з альтернативної енергетики передбачає виділення 4 млн. га, задіяних під вирощування енергетичних культур. Обсяг площ, які використовуються для вирощування міскантусу, силосної кукурудзи, тополі і енергетичної верби, повинен становити не менше 200 тис. га.

На сьогоднішній момент відзначається високий інтерес до альтернативних джерел енергії. Енергетична верба є найбільш рентабельною і енергоефективною культурою.

В таблиці 5.3 наведено попередні характеристики потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	5
Загальний обсяг продаж, грн/ум. од	25000
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Масштабність
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO для продукції, а саме вимоги до пожежної безпеки тощо.
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	78

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що ринок є привабливим для початку реалізації проекту за попереднім оцінюванням. Однак проблеми виникають з забезпеченням власних саджанців на початку його реалізації, які є сировиною для подальшої переробки. Тому спочатку сировину необхідно імпортувати в Україну.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в якісній деревині, яка має найбільшу ефективність при спалюванні в котлах	Держустанови, приватні підприємства, звичайні люди, що використовують щепу для опалення свого будинку	ДСТУ, ГОСТ, ISO	- до продукції: якісна структура полімеру та відповідність всім нормативам, щодо міцності, токсичності; - до компанії-постачальника: якість постачання, швидкість, доступність.

Проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (таблиці 5.5, 5.6). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Фактори поділяються на внутрішньо маркетингові середовище та зовнішньо маркетингові середовище. До внутрішньо маркетингових факторів відносяться власний капітал стартап проекту, інтелектуальна ресурси, технологічні ресурси, матеріальні, місцезнаходження. До зовнішньо маркетингового середовища стартап проекту відносяться природні, економічні, науково–технічні середовища.

Фактори загроз вносимо до таблиці 5.5.



Таблиця 5.5 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Політико-правові «Закон України про підприємницьку діяльність». «Закони України про ліцензування певних видів господарської діяльності».	Вплив на працездатність проекту, купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару Недостатня підтримка державою нових підприємців.	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця. Зміна напрямків імпорту/експорту

Продовження таблиці 5.5

Природні: Пожежі, землетруси, повені, урагани	Руйнування інфраструктури.	Протидія стихійним явищам шляхом облаштування захистом від стихійних явищ, пожеж тощо, проведення інструктажу з техніки безпеки.
Економічні Криза Інфляція Підвищення цін на сировину.	Впливає на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару	Підвищення/пониження ціни на продукт
Науково-технічні застаріла конструкції сушильного обладнання Невідповідність продукції наших споживачів та наших послуг науково-технічному розвитку галузі	Неконкурентоспроможні підприємства з нижчою якістю вихідної продукції	Постійний пошук та моніторинг актуальних тенденцій в обраній та в суміжних сферах діяльності. Інноваційна діяльність.
Соціо-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів впроваджувати інноваційні рішення	Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність виробництва

Таблиця 5.6 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні	Поява нового методу підготовки сировини до сушіння	Розробка нового або модернізація старого обладнання. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію.
Демографічні: Зростання населення	Збільшення попиту на деревні пелети	Збільшення числа потенційних клієнтів

Наступним кроком проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку, отримані дані вносимо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: олігополія	Невелика кількість конкуруючих фірм, де хоча б одна або дві з них, виробляють більшу частину продукції в даній галузі	Пропозиція унікального продукту на ринку, який дозволить знизити високий бар'єр входу на ринок
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національна конкуренція на ринку	Забезпечення конкурентоспроможності на світовому ринку	Пропозиція продукту з урахуванням вимог до наслідків його реалізації місцевих громад
3. За галузевою ознакою: Внутрішньогалузева конкуренція	Конкуренція за більш вигідні умови виробництва, за розширення ринків збуту своїх товарів, за одержання найбільшого прибутку між конкурентами в одній галузі	Підвищення ефективності всієї галузі, її технічний рівень та конкурентоспроможність, удосконалення структури виробництва відповідно до нових потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова	Зосередження конкурентоспроможності на якості товару	Постійний моніторинг ринку щодо появи продуктів замінників

Продовження таблиці 5.7

5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Технічні переваги, впровадження нововведень, найефективніші методи збуту товару	Зосередження конкурентоспроможності на якості товару, наданні додаткових послуг та збільшення асортименту
---	---	---

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера. Згідно цієї моделі розглядаємо 5 основних сил, які необхідно врахувати перед виходом на ринок, опис наведено в таблиці 5.8.

М. Портер виділяє п'ять основних факторів, які впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції.

- конкурент, що є вже в галузі;
- постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- споживачі;
- потенційні конкуренти;
- наявність товарів замінників.

Таблиця 5.8 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Підприємства що займаються вирощенням енергетичної верби: Salix energy, Голланд Плант Україна тощо.	Конкурентом може стати підприємство яке почне співпрацювати з технічними вузами.	Напрямо отриманню ростків верби, (бажано купувати в Українських виробників)	- не конкурентоспроможне об'єднання; - не якісні послуги; - без інноваційне.	Інші види дерева (звичайна верба, тополя, береза тощо)

Продовження таблиці 5.8

Висновки:	На даний момент більшість конкурентів не вирощує енергетичну вербу в порівнянні з іншими видами дерева	- Вхід на ринок можливий, внаслідок того, що промисловість потребує економічно вигідних видів опалення, яким є енергетична верба. - нових конкурентів не знайдено на даний момент	Час, ціна та якість зрізаної деревини для переробки і поставки комплектуючих та його мінімальна вартість.	Конкурентно спроможне обладнання за низькою ціною якісна продукція	На даний момент енергетична верба лише на початку свого розвитку в Україні, тому не є найпоширенішим тому заміниками енергетичної верби з такими властивостями відсутні.
-----------	--	--	---	--	--

Згідно отриманого аналізу конкуренції визначено, що конкуренція на ринку, що важливим конкурентним рішенням є розвиток вирощення енергетичної верби.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 5.8, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5) та факторів маркетингового середовища (таблиці 5.5, 5.6) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [5].

Згідно отриманих результатів основним параметром конкурентоспроможності є якість отриманих пагонів енергетичної верби та подальша їх обробка. Аналіз факторів конкурентоспроможності наведено в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Експлуатаційні властивості енергетичної верби	Якість отриманих брусків енергетичної верби, що формує якість пелет, які будуть виготовлятися, тому клієнти зацікавлені в отриманні якісного товару.
2.	Асортимент продукції інших видів деревини	Ми надаємо комплекс послуг по розробці виготовленню і доставці.
3.	Сервісне обслуговування	Акцент на подальшій співпраці з існуючим клієнтами.
4.	Низька ціна	Зменшення вартості надання товарів та послуг шляхом зниження енергозатрат на виробництво пелет.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Таблиця 5.10 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Низька ціна	5			◇	△	□		
2.	Якість	10		◇	□		△		
3.	Асортимент	5	△	□				◇	
4.	Рівень концентрації	0			△	□, ◇			

\* □ – Salix Energy

△ – Голланд Планта Україна

◇ – Біопроект

Сильні сторони проекту: якість пелет енергетичної верби; універсальність застосування модернізованого обладнання.

Слабкі сторони проекту: невеликий асортимент продукції, що виготовляється; недостатня кількість сировинної бази в Україні та необхідність купівлі імпортової сировини (пагонів енергетичної верби для посадки) на початку.

Складаємо SWOT-аналіз (матриці аналізу сильних (Strength), слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 5.10), та вносимо результати до таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – SWOT - аналіз стартап -проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>1. новизна проекту;</li> <li>2. актуальність стартап-проекту полягає в збільшенні конкурентоспроможності споживачів підприємств, що займаються вирощенням енергетичної верби;</li> <li>3. відносно низька вартість впровадження проекту;</li> <li>4. інноваційна діяльність;</li> <li>5. робота за вільним графіком працівників роботи.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. складність виходу на ринок;</li> <li>2. складність знаходження організації, де можливо економічно вигідно купити пагони енергетичної верби;</li> <li>3. низька дохідність проекту.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>1. створення нових рецептур паливних брикетів;</li> <li>2. залучення до співпраці фахівців в інженерії та агрономії;</li> <li>3. модернізація та проектування нового обладнання для переробки та сушіння енергетичної верби.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. «Консервативність споживачів до запровадження інновацій».</li> <li>2. Низька конкурентоспроможність на ринку.</li> <li>3. Не відповідність проекту сучасним тенденціям в галузі.</li> </ul>

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуємо з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів, отримані дані вносимо до таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Використанні полів під засадження деревами хвойних порід (ялинками) для продажу у зимовий період	На даний момент недостатньо висока, внаслідок незаконної вирубки хвойних лісів	3-4 роки
2.	Використання виробничої лінії для сушіння інших видів сировини (злакові тощо)	Достатньо висока	1-2 місяці

Після аналізу обираємо використання виробничої лінії для сушіння інших видів сировини, як альтернативу ринкової поведінки.

На даний момент сільськогосподарська промисловість отримує найбільшу кількість інвестицій з закордону та України, тому розробка альтернативного проекту в даній галузі є актуальним. В сільському господарстві необхідні підприємства, що займається сушкою різних видів сільськогосподарської продукції для заготовки їх на зберігання у зимовий період. Прикладом є сушіння пшениці, що необхідне для випікання хлібо-булочних виробів. Після аналізу обираємо альтернативу диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів.

#### 5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 5.13). Розроблення ринкової стратегії проекту проводимо згідно методикою наведеною в [31].

Таблиця 5.13 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Будівельні компанії, харчова та хімічна, сільськогосподарська, приладобудівна промисловості	Зазнаватиметься готовністю підприємств піти на додаткові витрати пов'язані з закупівлею паливних брикетів	Залежить від рівня та темпу розвитку економіки країни, насамперед від галузей-споживачів, а також рівня характеру конкурентів з боку держави	Низька	Високі бар'єри входу на ринок
Обрано наступні цільові групи: підприємства сільськогосподарської, приладобудування та будівельна промисловості різних форм власності.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо сільськогосподарської, приладобудування та будівельна промисловості і використовуємо стратегію концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку, яка наведена в таблиці 5.14.

Таблиця 5.14 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Виробництво паливних брикетів з енергетичної верби	Концентрований маркетинг	Наслідкування дій лідера, захисні дії	Диференціації



Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 5.18).

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні, не буде. Буде утворено унікальну продукцію	Наслідування лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 5.14) та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування (таблиця 5.15). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.16 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1. до продукції: низька вологість вихідного матеріалу, висока теплотворча здатність 2. до компанії-постачальника : якість постачання, швидкість, доступність	Інтегративного зростання( поєднання з інвесторами та клієнтами)	Буде утворено унікальну продукцію Новий метод підготовки сировини перед сушінням, інтенсифікація процесу горіння в котлі та вища енергоефективність процесу.	Виробництво асортименту, для кожного клієнта У клієнтів має сформуватися асоціація, що ця технологія підвищуватиме ефективність їх виробництва і дозволить їм надалі економити

Основною особливістю пропонованого проекту є підвищення ефективності процесу сушіння енергетичної верби шляхом механічної деформації брусків перед подачею їх до сушарки.

## 5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.17 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Швидке отримання брусків енергетичної верби.	Задіяння виснажених полів під посадку енергетичної верби	Швидкість росту самої енергетичної верби
2.	Швидке отримання необхідної вологості в деревині під час сушіння	Попередня механічна деформація дозволяє зменшити час, що витрачається на сушіння	Попередня механічна деформація брусків енергетичної верби дозволяє зменшити час сушіння (за дослідженнями складає 15 хвилин, де температура була нижчою на 40 градусів, що використовується зазвичай на лінії сушіння)
3.	Зниження енергозатрат на виробництво (за рахунок попередньої механічної деформації).	Зменшення ціни продукту	Інноваційний метод механічної деформації

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 5.18). Орієнтовний перелік можливих характеристик товару наведено у методиці [31].

До основних техніко-економічних характеристик товару відносяться:

- Економічні – вартість обслуговування, експлуатації, утилізації, витратних матеріалів, ремонту, знижки;
- Призначення (технічні) – показники, що визначають головний напрямок використання товару та можливу сферу його застосування: класифікаційні показники, складу і структури, технічної досконалості;
- Надійності – здатність товару безвідмовно функціонувати: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;
- Технологічні – можливість оптимізації витрат матеріалів, праці, коштів, часу під час технологічної підготовки виробництва, виготовлення та використання товару;
- Ергономічні – показники ступеню адаптованості технічних та конструктивних рішень виробу до біологічних властивостей людини та середовища використання товару: гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психологічні;
- Органолептичні – визначають властивості товару, які людина може визначити за допомогою своїх органів чуття;
- Естетичні – оцінюють зовнішній вигляд товару;
- Транспортабельності – визначають пристосованість продукції до транспортування, підготовчих, початкових і кінцевих операцій перевезення;
- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на довкілля;
- Безпеки – безпечності та нешкідливості споживання товару.

Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 5.18.

Таблиця 5.18 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції), її основної функціональної вигоди:		
	Попередня механічна деформація брусків верби перед подачею до сушильного апарату.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Технічні: бруски зрізаної енергетичної верби з діаметром від 5 мм до 15 мм з перевіреними характеристиками; 2. Економічності: зниження затрат на сушіння; 3. Ергономічність: доступ до всіх елементів сушильного апарату; 4. Безпека: відповідність нормативам; 5. Екологічність: не містить шкідливих домішок.	+/+	-/+ /+/-/-
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, ISO, DIN та інші.		
	Пакування— в поліетиленових мішках з логотипом підприємства.		
	Марка: назва організації-розробника та назва товару		
III. Товар із підкріпленням	До продажу : Роз’яснення клієнтові питань з технологією переробки		
	Після продажу: Гарантія якості продукції		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Використання власних запатентованих розробок та методів оптимізації, консультування та шляхів розв’язку проблеми.			

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 5.19). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.19 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	600-900 грн/1 упаковка	700-850 грн – ціни невисокі	Підприємства великі, середні та малі цехи	200-800 грн/1 консультація, в режимі онлайн безкоштовно.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 5.20):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.20 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Закупівля оптом	Якість товару, потрібні характеристик и, швидкість доставка до клієнта	Нульового рівня - виробник сам продає товар кінцевому споживачеві, прямі канали розподілу	Через інтернет

Продовження таблиці 5.20 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
2.	В роздріб	Швидкість перевезення на точку збуту	Дворівневий - між виробником і покупцем послідовно існують оптовий і роздрібний продавці	Через інтернет та безпосередньо на місці проведення продажу
3.	Консультавання при виникненні питань та пропозицій	Виконання роботи та складання	Однорівневий	Через інтернет по телефону, відеоконференціях та на місці

Система збуту товарів - ключова ланка комерційної діяльності й свого роду фінішний комплекс у всій діяльності фірми по створенню, виробництву й доведенню товару до споживача. Власне, саме тут споживач або визнає, або не визнає всі зусилля підприємства корисними і потрібними для себе і, відповідно, купує або не купує її продукцію і послуги.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 5.21).

Таблиця 5.21 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Розв'язок проблем в діяльності	Інтернет та соціальні мережі	Запевнення в швидкості та якості, створення партнерських стосунків з клієнтом.	Запевнити в швидкому розв'язку та відповідей на всі питання, що турбують.	«Ми допоможемо зігріти Вас!»
2.	Пошук варіантів розвитку клієнта (покращення параметрів, зменшення затрат тощо).	Інтернет та соціальні мережі, реклама	Надання всієї інформації про Нас, надання гарантій та картки клієнта з подальшим сервісом.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Рушійна сила інновацій»
3.	Бажання здійснити вигідну покупку, що буде актуальною тривалий час.	Інтернет та соціальні мережі, відеочати, реклама виставки та друкована продукція	Надання всієї інформації та гарантія на покупку.	Показати перелік наших послуг та надати інформацію для звернення.	«Обирайте найкраще»

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.



## **5.6. Висновки**

В процесі розробки стартап проекту було розроблено висновки, що можлива ринкова комерціалізація проекту. На користь цього свідчить наявність попиту, що виражена потребою.

Енергетична верба набуває популярності, що робить цю сировину затребуваною на багатьох підприємствах. Ринок по вирощенню та сушінню енергетичної верби в Україні є перспективним в розвитку. Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку оцінки рівня, динаміки конкуренції в базових та споріднених галузях та обґрунтовані фактори конкуренції формують особливості даного ринку. Особливостями даного ринку є конкурентоспроможність продукції на якості та відповідності до екологічних та технологічних нормативів.

Спроможність стартап проекту дозволяє стверджувати про перспективи створення та розвитку стартапу.

## **Висновки**

Переглянувши варіанти апаратів та врахувавши їх переваги та недоліки, найдоцільніше буде використовувати барабанну сушарку для досягнення поставленої цілі. Також було проведено аналіз літературних та патентних джерел на базі яких було сформульовано фізичну та підібрано математичну модель процесу сушіння енергетичної верби.

Було сформульовано фізичну модель та розроблено математичну модель процесу сушіння енергетичної верби. Вирішено математичну модель процесу сушіння енергетичної верби та перевірено її адекватність.

Було виконано опис експериментальних установок, дано рекомендації щодо охорони праці при роботі на цих установках. Проведено послдовність виконання експериментів. Також було обчислено похибки прямих та непрямих вимірювань на основі експериментальних даних.

На основі експериментальних даних було виконано тепловий розрахунок барабанної сушарки із визначенням її основних габаритних розмірів.

В процесі розробки стартап проекту було розроблено висновки, що можлива ринкова комерціалізація проекту. На користь цього свідчить наявність попиту, що виражена потребою.

Енергетична верба набуває популярності, що робить цю сировину затребуваною на багатьох підприємствах. Ринок по вирощенню та сушінню енергетичної верби в Україні є перспективним в розвитку. Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку оцінки рівня, динаміки конкуренції в базових та споріднених галузях та обґрунтовані фактори конкуренції формують особливості даного ринку. Особливостями даного ринку є конкурентоспроможність продукції на якості та відповідності до екологічних та технологічних нормативів.

Спроможність стартап проекту дозволяє стверджувати про перспективи створення та розвитку стартапу.

## **Выводы**

Просмотрев варианты аппаратов и учитывая их преимущества и недостатки, целесообразно будет использовать барабанную сушилку для достижения поставленной цели. Также был проведен анализ литературных и патентных источников на базе которых были сформулированы физическую и подобрано математическая модель процесса сушки энергетической ивы.

Были сформулированы физическую модель и разработана математическая модель процесса сушки энергетической ивы. Решено математическая модель процесса сушки энергетической ивы и проверено ее адекватность.

Было выполнено описание экспериментальных установок, даны рекомендации по охране труда при работе на этих установках. Проведено послудовнисть выполнения экспериментов. Также было вычислено погрешности прямых и косвенных измерений на основе экспериментальных данных.

На основе экспериментальных данных было выполнено тепловой расчет барабанной сушилки с определением ее основных габаритных размеров.

В процессе разработки стартап проекта был разработан выводы, возможна рыночная коммерциализация проекта. В пользу этого свидетельствует наличие спроса выражена необходимости. Энергетическая ива приобретает популярность, что делает это сырье востребованной на многих предприятиях. Рынок по выращиванию и сушке энергетической ивы в Украине является перспективным в развитии. Маркетинговые исследования избранное сегмента рынка оценки уровня, динамики конкуренции в базовых и родственных отраслях и обоснованные факторы конкуренции формируют особенности данного рынка. Особенности данного рынка является конкурентоспособность продукции на качестве и соответствии с экологическими и технологических нормативов. Способность стартап проекта позволяет утверждать о перспективах создания и развития стартапа.

## **Conclusions**

Having reviewed the variants of the devices and taking into account their advantages and disadvantages, it is most advisable to use drum driers to achieve the set goal. An analysis of literary and patent sources was also carried out on the basis of which the physical formulation was made and a mathematical model of the willow's drying process was selected.

A physical model was formulated and a mathematical model for the energy of willow drying process was developed. The mathematical model of the energy willow drying process has been solved and its adequacy has been checked.

The description of experimental installations was made, recommendations on safety at work at these installations were given. The experiments are carried out on a regular basis. The errors of direct and indirect measurements were also calculated on the basis of experimental data.

On the basis of experimental data, the thermal calculation of the drum dryer was performed with the determination of its main overall dimensions.

In the process of developing the project startup, it was concluded that the market commercialization of the project is possible. In the interests of this, there is a demand for demand expressed by need.

Energy willow is gaining popularity, which makes this raw material in demand at many enterprises. The market for growing and drying energy willow in Ukraine is promising in development. Market researches of the selected segment of the market of level assessment, dynamics of competition in the basic and related industries and well-grounded factors of competition shape the features of this market. The features of this market are the competitiveness of products in terms of quality and compliance with environmental and technological standards.

The ability to start a project allows you to confirm the prospects for creating and developing a startup.

### Перелік посилань

1. <http://uabio.org/img/files/news/pdf/experience-growing-energy-willow-in-western-ukraine-gnap-t-energy-20112014.pdf>
2. <http://www.salix-energy.com/energetichni-roslini>
3. <http://uabio.org/img/files/news/pdf/experience-growing-energy-willow-in-western-ukraine-gnap-t-energy-20112014.pdf>
4. <http://www.salix-energy.com/energetichni-roslini>
5. <http://bio.ukrbio.com/ua/articles/2344/>
6. В.М.Лыков Сушка в химической промышленности «Химия», М.1970
7. Фізична та математична модель процесу прогріву деревини/ Степчук І.В., Степанюк А. Р., Воронін Л. Г., Корінчук Д. М.
8. Директива 2009/28/ЕС щодо стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел, внесення змін та подальшої зміни Директив 2001/77/ЕС та 2003/30/ЕС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://faolex.fao.org/docs/pdf/eur88009.pdf>.
9. Сучасний стан та перспективи розвитку біо- енергетики в Україні. Г.Г. Гелетука, Т.А. Желєзна, О.В. Три- бой. Аналітична записка БАУ № 10(2014). – С. 1-33 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://uabio.org/img/files/docs/ position-paper-uabio-10-ua.pdf>.
- 10.Калініченко О.В. Енергетична оцінка ефективності виробництва цукрових буряків / О.В. Калініченко // Экономика предприятия: Технологический аудит и резервы производства – № 2(4), 2012. – С.31-35.
- 11.Калініченко О.В. Енергетична оцінка ефективності виробництва цукрових буряків / О.В. Калініченко // Экономика предприятия: Технологический аудит и резервы производства – № 2(4), 2012. – С.37-39.
- 12.<http://www.scolari.com.ua/produkty/susharki/konveierni/>
- 13.Пат. 87767 Україна, МПК (2014.01) F26B 17/00. Вібраційна конвеєрна сушарка з інфачервоним випромінюванням/ Паламарчук І.П., Банура В.М.,

- Паламарчук В.І. – № u201302520; заявл. 28.02.2015; опубл. 25.02.2014, бюл. № 4.
14. Пат. 86027 Україна, МПК (2013.01) F26B 3/06. Конвеєрна стрічкова сушарка/ Іващенко В.І., Буляндра О.Ф., Шутюк В.В., Вербицький В.І., Бессараб О.С. – № u201307343; заявл. 10.06.2013; опубл. 10.12.2013, бюл. № 23.
15. <http://tkachenko.vk.vntu.edu.ua/file/cda121b838067ae3ea7278d7f3afc556.pdf>
16. Пат. 57311 Україна, МПК (2010.01) F26B 11/04. Барабанна сушарка/ Володюк Г.А., Гатілов К.О. – № u201007824; заявл. 22.06.2010; опубл. 25.02.2011, бюл. № 4.
17. Пат. 63878 Україна, МПК (2011.01) F26B 11/00. Барабанна сушарка/Пономаренко В.В., Люлька Д.М. – № u201103100; заявл. 16.03.2011; опубл. 25.10.2011, бюл. № 20.
18. Пат. 100932 Україна, МПК (2006.01) F26B. Сушарка з псевдозрідженням шаром з непрямим підігріванням/ Клутц Ханс-Йоахім, Мозер Клаус – № a201107960; заявл. 24.11.2008; опубл. 11.02.2013, бюл. № 3.
19. Пат. 89805 Україна, МПК (2014.01) F26B 17/00. Сушарка псевдозрідженого шару/ Піску Є.В., Улітько Р.М. – № u201315270; заявл. 26.12.2013; опубл. 25.04.2014, бюл. № 8.
20. Состав и связующие свойства лигнинов, полученных окислительной делигнификацией древесины пихты, осины и березы в среде уксусной кислоты/ И.Г. Судакова, Б. Н. Кузнецов и др./Химия растительного сырья 2010 №3. С. 55-60
21. Фізична та математична модель процесу прогріву деревини/ Степчук І.В., Степанюк А. Р., Воронін Л. Г., Корінчук Д. М.// Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Ресурсозберігаючі технології та обладнання”. – 2014 р. - 66-67 стр.
22. Протодюков И.О., Чесноков Ю.Г. Гидродинамика псевдоожигенного слоя. – Л.Химия:, 1982 – 246 с.

23. Математична модель процесу сушки в псевдодозрідженому шарі/ Гапонюк М.М., Собченко В.В.// Збірник тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Ресурсозберігаючі технології та обладнання”. – 2014 р. - 9-10 стр.
24. Расев А. И. Сушка древесины. М.: Высшая школа, 1990. — 224 с
25. В.М.Лыков Сушка в химической промышленности «Химия», М.1970
26. Состав и связующие свойства лигнинов, полученных окислительной делигнификацией древесины пихты, осины и березы в среде уксусной кислоты/ И.Г. Судакова, Б. Н. Кузнецов и др./Химия растительного сырья 2010 №3. С. 55-60
27. Дослідження кінетики сушіння енергетичної верби. Довгаль О.О., Степанюк А.Р. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука», Київ, Україна, 2018р.
28. Гинзбург А. С. Сушка пищевых продуктов. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 683 с.
29. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. Часть 1. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
30. Метод теплового расчета барабанных сушилок: ОСТ 26-01-450-85:.. – [введен 01.01.86]. – М.: Министерство химического и нефтяного машиностроения 1985 – 53с.– (Издательство стандартов).
31. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
32. <http://www.ukrexport.gov.ua/ukr/prom/ukr/14.html>
33. [http://valest.com.ua/ua/news/news\\_02](http://valest.com.ua/ua/news/news_02)
34. <http://polymercenter.com.ua/>
35. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки

(ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

36. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on 'the Four-Dimensional Thinking' in Information Society // Marketing and Management of innovations. — 3'2017. — P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
37. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. — Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». — 2017. — С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).
38. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>
39. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. — 2014. — Т. 1. — С. 60– 72.
40. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). — 2015. - С. 124-127. — Режим доступа : [http://futurolog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).



41.Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики.Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127.

— Режим доступа :  
[http://futurollog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).